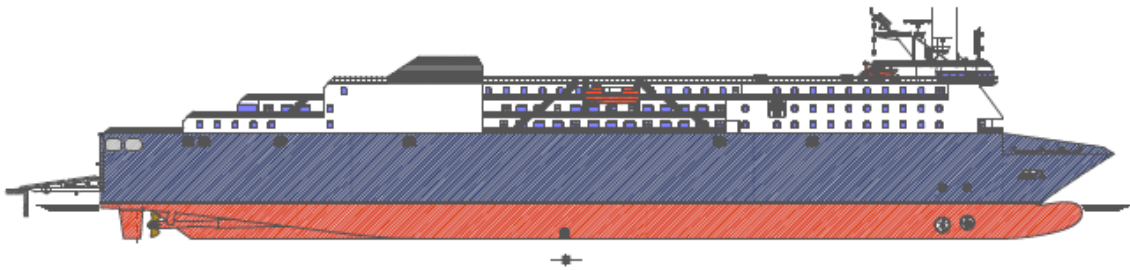




Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales

Proyecto Fin de Carrera nº034

ROPAX 4000 TPM



Cuaderno 1

**Memoria explicativa del tipo de buque y
servicio al que se destina**

Tutor:

José María Riola Rodríguez

Alumno:

Francisco Sastre Guasch



Índice

1. Introducción	3
2. Análisis de la misión y enfoque conceptual del proyecto	4
3. Metodología y criterios aplicados en el desarrollo del proyecto	7
4. Base de datos	8
5. Bibliografía	11



1. Introducción

En este cuaderno se resume el tipo de proyecto a realizar así como la metodología y los medios empleados para su elaboración.

El proyecto en cuestión fue adjudicado por la Comisión de Ordenación Académica en la reunión celebrada el 21 de Diciembre del 2010 con número de proyecto 034. Consiste en la realización de un “Buque Ferry de pasaje de día para 650ML de carga y 300 coches en carga simultánea.



2. Análisis de la misión y enfoque conceptual del proyecto

El buque ROPAX es un buque comercial, cuya misión es el transporte de carga rodada (trailers, coches, remolques, etc...) junto con pasajeros para la obtención de un rendimiento económico. El objetivo de este proyecto es el de realizar un buque ROPAX de 4000TPM.

El origen de este tipo de buques tuvo lugar en un intento de abaratar de los costes portuarios, lo cual se consigue acelerando las operaciones de carga y descarga de vehículos, al disponer de garajes diáfanos y rampas de acceso rápido para carga rodada. Con esto se consiguió reducir los tiempos de inactividad en puerto, los cuales suponen un aumento de los costes para dicho buque.

En los últimos años el transporte marítimo de viajeros no ha podido competir con el transporte aéreo en trayectos de larga distancia. Se ha tenido que buscar competitividad en los trayectos de corta distancia donde el éxito radica en la versatilidad que implica el viajar junto con el vehículo. Fenómeno de gran importancia dentro de la U.E. ("Short Sea Shipping").

Además se debe señalar que este tipo de buques forma parte de la cadena de transporte multimodal ya que en muchas ocasiones es parte del transporte "puerta a puerta". Por lo cual un camión es cargado en origen con una mercancía, viaja por carretera hasta el punto más adecuado, embarca directamente en el buque, pasa la etapa marítima hasta el puerto de destino, desembarca con sus propios medios y prosigue el viaje hasta su destino. El buque ROPAX es pues, parte de la cadena de este transporte intermodal, y por tanto de la integración con otros medios de transporte teniendo siempre que buscar la máxima eficiencia y rentabilidad.

Todo lo dicho anteriormente da lugar a que en este tipo de buques se requieran plantas propulsoras de gran potencia que confiera altas velocidades. Atendiendo, a los pasajeros hay que tener en cuenta que este tipo de buques además de comerciales son de pasaje, por tanto necesitamos espacios de acomodación y de entretenimiento para el pasaje. Como es evidente es de vital importancia la seguridad abordo por ello el buque dispone de doble maquinaria, doble línea de ejes y doble timón.

Cuando se encarga la construcción de un buque el ingeniero naval recibe del armador las especificaciones de contrato. Las cuales tendremos que tener en cuenta durante toda la fase de diseño. Para nuestro buque proyecto los requisitos iniciales son:

- Tipo de buque: Ferry de día para 800 pasajeros.
- Camarotes: 40 camarotes cuádruples y resto en salones.
- Espacios públicos: 3.5 m² / persona.
- Capacidad de carga: 650 metros lineales de tráileres y 300 coches en carga simultánea.
- Peso muerto: 4000 TPM.
- Sociedad de clasificación: Bureau Veritas.
- Reglamentos: Solas, Marpol, Convenio Líneas de Carga, Acuerdo de Estocolmo.
- Velocidad: 26 nudos al 85% MCR en pruebas.
- Autonomía: 4000 millas al 85% MCR y 15% margen de mar.
- Tripulación: 40 personas.
- Se instalaran 60 tomas de corriente para tráileres refrigerados.



- A efectos de peso muerto y estabilidad se considerara;
- Coches: 0,350Tm por metro lineal.
- Tráileres: Aproximadamente 2Tm por metro lineal
- Las cargas para el proyecto de la estructura, se definirán durante el desarrollo del proyecto.

Además de estas especificaciones se deben tener en cuenta 3 puntos importantes en el enfoque conceptual:

1_Tipo de viaje, atendiendo al SOLAS hay que distinguir entre;

- Viaje Internacional Corto: es todo viaje en el que entre su punto de origen y destino no haya una distancia mayor de 600 millas, además de no separarse más de 200 millas de la costa. En este caso se permite llevar menos medios de salvamento lo cual reduce las áreas necesarias para ello.
- Viaje Internacional Largo: es todo viaje que no es corto. Se necesita una capacidad de medios de salvamento superior.

2_Espacios para pasajeros, se debe distinguir entre;

- ROPAX de día: cuentan con espacios públicos para el pasaje pero no está provisto con camarotes para todo el pasaje.
- ROPAX de noche: cuentan con camarotes para acomodar a todo el pasaje.

3_Cubiertas de carga y bodega;

Los buques ferry suelen disponer de una o varias cubiertas de carga en función de los metros lineales a transportar. Además se puede optar por utilizar bodega baja para la carga de vehículos. Esta opción se da en muchas ocasiones para poder llegar a completar los metros lineales especificados en contrato que faltan si son pocos. Ahora bien si se opta por ello se debe dejar para la bodega un quinto de la manga a cada costado del buque y un décimo de la manga de altura de doble fondo para la bodega. La bodega baja normalmente solo se utiliza en temporada alta ya que se tarda en cargarla, después cerrarla (debe quedar perfectamente estanca) para luego en destino también tardar más en descargarla, por tanto para que interese tiene que ser rentable. También hay que señalar que desde el punto de vista de seguridad y estabilidad es menos seguro el disponer de bodega baja además de perder casi todo el espacio de proa por debajo de la cubierta principal.

Otra opción es la de colocar una plataforma en una de las cubiertas de garaje para completar esos metros lineales. Esta opción actualmente es la más utilizada ya que no implica tantas restricciones como la anterior, tan solo el aumento del puntal en una de las cubiertas de garaje.

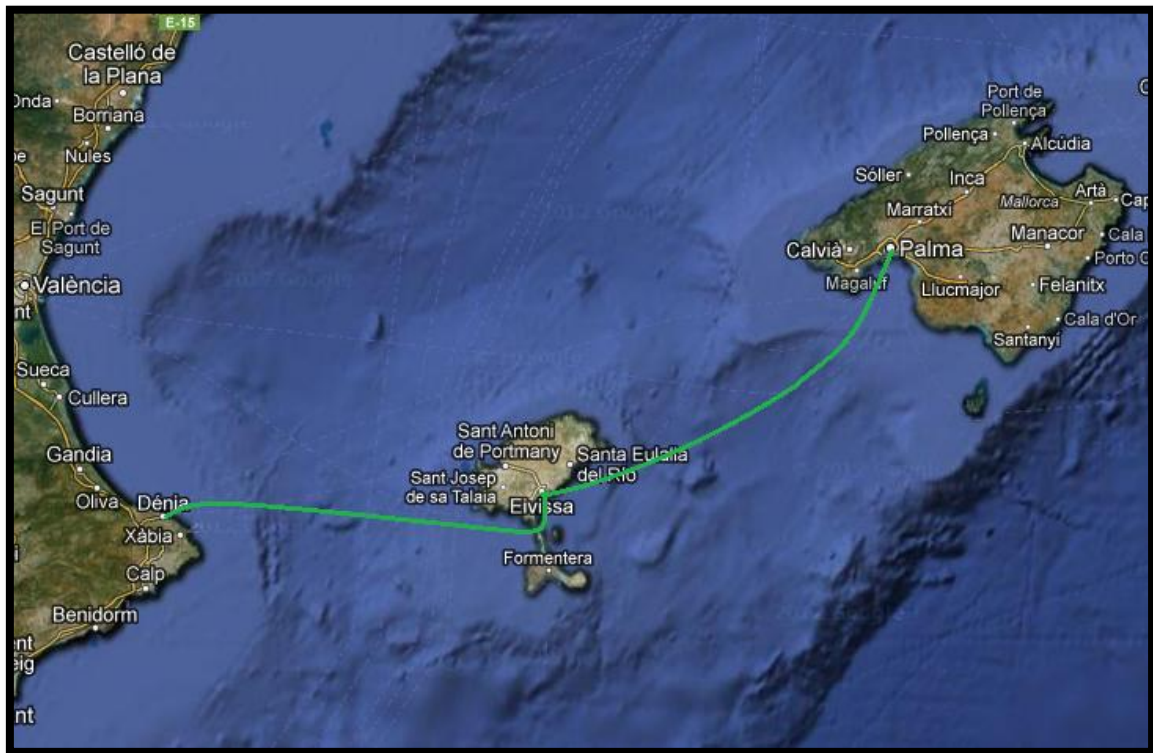


Para decidir el tipo de viaje a realizar, es necesario conocer el trayecto que cubrirá nuestro buque. En este caso el hipotético trayecto tiene que ser un trayecto que no se realice por la noche pues como se ha comentado en las especificaciones de proyecto, nuestro buque no cuenta con camarotes para todo el pasaje.

Además, los requisitos señalan al buque como de carga simultánea luego tanto la carga de trailers como de coches será habitual entre los distintos puertos. Teniendo esto en cuenta se ha elegido como posible ruta para nuestro buque la que hay entre los puertos de Palma de Mallorca, Ibiza y Denia.

Tanto la isla de Mallorca como de Ibiza son uno de los principales destinos turísticos del territorio español. Mientras que Dénia es la localización estratégicamente más cercana a dichas islas y por tanto nexo de unión con la península.

Una vez explicado el interés de las localizaciones elegidas, se presenta un mapa de la situación geográfica de las mismas.



Como se puede ver en el mapa no hay más de 600 millas entre los distintos trayectos y además en ningún momento nos alejamos más de 200 millas de la costa luego nuestro buque estará pensado para realizar un tipo de viaje nacional corto.

Este tipo de trayectos son los idóneos para nuestro tipo de buque el cual tiene la calificación de buque de día. La alta velocidad de nuestro buque permite realizar la travesía de ida y de vuelta en el mismo día, siendo la duración entre el puerto de Palma de Mallorca y el de Denia de menos de 8 horas incluyendo el tiempo de carga y descarga en el puerto intermedio de Ibiza.



3. Metodología y criterios aplicados en el desarrollo del proyecto

La metodología de trabajo en este proyecto ha sido regular trabajando todos los días desde antes de la fecha oficial de asignación del proyecto. Como cualquier otro tipo de buque para la realización del proyecto hemos partido del dimensionamiento, pero se ha tenido en cuenta en todo momento los contenidos de todos los cuadernos como son las formas, estructura, disposición general, propulsión, salvamento, equipos, reglamentación asignada al buque en cuestión, etc.

Respecto a las herramientas utilizadas para la elaboración del mismo cabe destacar los conocimientos adquiridos durante la carrera así como los diferentes apuntes y libros de texto recogidos y utilizados respectivamente durante su realización. Al final del presente cuaderno se presenta una bibliografía de la documentación empleada, así como son los códigos SOLAS, MARPOL, Convenio de líneas de carga, Convenio de arqueo, Acuerdo de Estocolmo y reglas de la Sociedad de Clasificación, Bureau Veritas.

Por otra parte se han utilizado para la realización de los diferentes cálculos los programas de ordenador de Excel, Word, AutoCAD, Rhinoceros, Maxsurf, Hidromax y Mior.



4. Base de datos

Antes de comenzar a diseñar el buque proyecto, es de gran ayuda el disponer de una base de datos de buques similares, para tener información fiable con la que poder comparar los cálculos realizados. A continuación se expone una base de datos de buques similares. Todos ellos guardan una estrecha relación con el buque proyecto y serán de gran ayuda a la hora de elegir la decisión más acertada entre las diferentes opciones.



Nombre	Año	Lpp (m)	B (m)	T. diseño (m)	Hp (m)	Hs (m)	L/B
Alhucemas	2009	137,00	24,20	5,50	8,35	13,55	5,66
Sunflower Pearl	2008	154,70	23,20	6,00	8,40	14,30	6,67
Martín y Soler	2008	152,50	25,60	5,70	8,50	15,80	5,96
Volcán de Tijarafe	2007	137,00	24,20	5,50	8,53	13,55	5,66
European Ambassador	2001	161,60	24,00	6,00	9,50	15,70	6,73
Sorolla	2001	157,00	26,20	6,20	9,20	14,84	5,99
Blue Star1	2000	160,48	25,70	6,35	9,40	15,10	6,24
Europeam Causeway	2000	148,00	23,40	5,50	9,00	15,20	6,32
Finnclipper	1999	170,00	28,70	6,00	9,00	15,10	5,92



Nombre	Año	TPM diseño	ml. carga	Pax	Tripulación	V serv. (knt)	Potencia
Alhucemas	2009	3200	1769	960	40	21,4	2x9000kW
Sunflower Pearl	2008	4406	2340	748	34	23,2	2x9000kW
Martín y Soler	2008	4370	1750	1164	36	21,4	2x9000kW
Volcán de Tijarafe	2007	3350	1280	974	36	23,0	2x11700kW
European Ambassador	2001	4884	1950	405	45	25,7	2x11880kW
Sorolla	2001	4795	1809	812	72	23,0	4x7240kW
Blue Star1	2000	4563	2230	1600	112	27,0	4x11120kW
Europeam Causeway	2000	4276	1771	410	55	22,7	4x7920kW
Finnclipper	1999	6800	2450	454	40	22,0	4x5760kW



5. Bibliografía

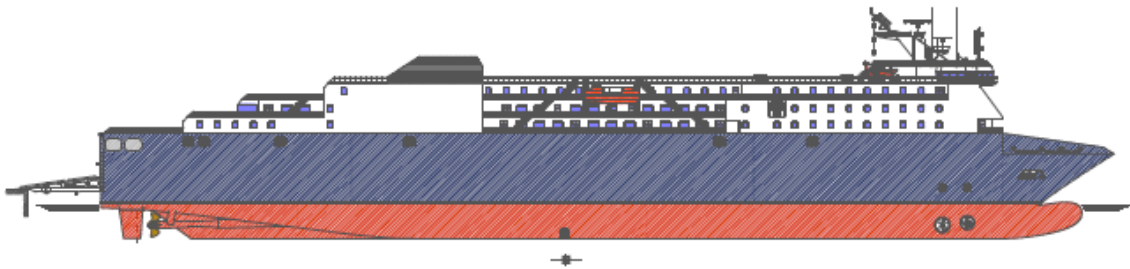
- Alvariño, Ricardo; Aspíroz, Juan José y Meizoso, Manuel (1997). *El proyecto básico del buque mercante*. Madrid: FEIN.
- OMI (2009). *SOLAS (Convenio Internacional sobre la Seguridad de la Vida Humana en la Mar)*. Londres: Autor.
- Bureau Veritas (2011). *Rules for classification of Steelships*. Paris: Autor.
- OMI (1966). *Convenio Internacional sobre líneas de carga*. Londres: Autor.
- OMI (1970). *Convenio Internacional de Arqueo de Buques*. Londres: Autor.
- OMI (2006). *Convenio Internacional para prevenir la contaminación de los buques*. Londres: Autor.
- Meizoso Fernández, Manuel y García Garcés, José Luis (2000). *Desplazamiento: cálculo iterativo del peso en rosca y peso muerto*. Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales.
- Baquero, Antonio (2011). *Resistencia al avance del buque*. Madrid: ETSIN, Departamento de Artes Gráficas.
- Baquero, Antonio (2011). *Introducción a la resistencia y propulsión*. Madrid: ETSIN, Departamento de Artes Gráficas.
- Ortiz Berrocal, Luis (2007). *Resistencia de materiales*. Madrid: McGraw-Hill.
- Vázquez Fernández, Manuel (1999). *Resistencia de materiales*. Madrid: Noela.



Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales

Proyecto Fin de Carrera nº034

ROPAX 4000 TPM



Cuaderno 2

Dimensionamiento

Tutor:

José María Riola Rodríguez

Alumno:

Francisco Sastre Guasch



ÍNDICE

ÍNDICE.....	2
1. INTRODUCCIÓN	3
2. ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO	4
3. DIMENSIONAMIENTO.....	5
3.1 Consideraciones previas.....	5
3.2 Generación de alternativas	6
3.2.1 Alternativa con tambucho central	6
3.2.2 Alternativa con tambuchos laterales	11
4. SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DEFINITIVA	15
5. SUPERFICIE DE HABILITACIÓN	16
5.1 Determinación de la superficie necesaria	16
5.2 Determinación del número de cubiertas de habilitación	17
6. PUNTALES.....	18
7. PESO EN ROSCA.....	20
7.1. Estimación peso en rosca	20
7.2. Estimación del centro de gravedad del peso en rosca.....	23
8. PESO MUERTO.....	26
8.1. Desglose	26
8.2 Posición del centro de gravedad del peso muerto	27
9. DESPLAZAMIENTO	29
10. ESTABILIDAD DEL BUQUE INTACTO	30
10.1. Calado y coeficiente del bloque	30
10.2 Coeficiente de la flotación.....	31
10.3 Coeficiente de la maestra y coeficiente prismático	32
10.4 Posición longitudinal del centro de carena	32
11. ESTIMACIÓN DE LA POTENCIA PROPULSORA	33
12. RESULTADOS	34



1. INTRODUCCIÓN

El proyecto de un buque ferry normalmente viene definido por dos características principales; la superficie de habilitación de la cual debe disponer, para el alojamiento de sus pasajeros y el espacio necesario para el transporte de la carga requerida, que generalmente se define en unidades de longitud (metros lineales).

El ROPAX posee una manga considerable para atender las necesidades de estabilidad. Pese a ello suelen ser buques rápidos, dotados de formas finas que cuentan con bulbo de proa y sistemas propulsores de elevada potencia. Por otra parte, la relación B/T suele tomar valores altos debido a restricciones de calado en algunos puertos.

La carga rodada a transportar, se tiende a llevar lo más a popa posible para disponer de un mayor espacio, debido a la necesidad, como hemos dicho anteriormente de dotar al buque de formas finas en el cuerpo de proa, para así ofrecer menor resistencia al avance. Por ello el centro de carena se desplaza a popa, consiguiendo formas finas a proa y llenas a popa.

Esta configuración de las formas tiene como consecuencia efectos sobre las componentes de la resistencia al avance: la resistencia viscosa debido a las formas llenas en popa, aumenta, y lo mismo ocurre con la componente por formación de olas debido a la posición del centro de carena. Para poder contrarrestar el aumento de esta última componente, es necesario un eficaz proyecto del bulbo.

En este cuaderno, en primer lugar, se determinarán las dimensiones principales para cumplir las necesidades de carga y pasaje exigidas. Posteriormente se obtendrá el peso en rosca del buque, la posición del centro de gravedad, los coeficientes característicos de la obra viva, y, finalmente, la estimación inicial de la potencia propulsora necesaria para que navegue a la velocidad de pruebas deseada.



2. ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

Tipo de buque: Ferry de día para 800 pasajeros.

Camarotes: 40 camarotes cuádruples y resto en salones.

Espacios públicos: 3.5 m² / persona.

Capacidad de carga: 650 metros lineales de tráileres y 300 coches en carga simultánea.

Peso muerto: 4000 TPM.

Sociedad de clasificación: Bureau Veritas.

Reglamentos: Solas, Marpol, Convenio Líneas de Carga, Acuerdo de Estocolmo.

Velocidad: 26 nudos al 85% MCR en pruebas.

Autonomía: 4000 millas al 85% MCR y 15% margen de mar.

Tripulación: 40 personas.

A efectos de peso muerto y estabilidad se considerara;

- Coches: 0,350Tm por metro lineal.
- Tráileres: Aproximadamente 2Tm por metro lineal
- Las cargas para el proyecto de la estructura, se definirán durante el desarrollo del proyecto.
- Se instalaran 60 tomas de corriente para tráileres refrigerados.



3. DIMENSIONAMIENTO

Para la obtención de las dimensiones principales de nuestro buque, tendremos que hallarlas en relación a las especificaciones más exigentes, las cuales son, por un lado, el número de coches y metros lineales de tráileres a transportar, y por otro lado, la velocidad del buque, la cual, desempeñara un papel muy importante en la elección de las diferentes alternativas.

3.1 Consideraciones previas

- **Relación L/B.** Dicha relación en la gran mayoría de buques ferrys se mantiene entre un rango de valores que suele oscilar entre 5 y 7 unidades. En nuestro buque deberemos intentar que esta relación este lo más cercana que nos sea posible a 7, con el fin de evitar una gran resistencia al avance, debido a la alta velocidad impuesta en las especificaciones de nuestro proyecto.
- **Tambuchos.** Las funciones principales son el permitir el acceso y la comunicación entre las diferentes cubiertas del buque, tanto a tripulación como a pasaje. Por otra parte también se permite el acceso de la exhaustación tanto de los motores principales como auxiliares. Hay dos posibles soluciones; un tambucho central o dos laterales. Cada una de ellas tiene sus ventajas y desventajas, las cuales tendremos en cuenta a la hora de elegir la mejor opción.
- **Afinamiento de formas en proa.** Debido a dicho afinamiento en las cubiertas de carga, tendremos que restar los metros lineales necesarios que no sean aprovechables. Dicho suceso será más acusado en la cubierta principal que en la superior.
- **Pique de proa.** Dicho pique, ocupa en torno al 5% o 5% más tres metros de la eslora entre perpendiculares. Este hecho puede suponer una reducción importante de la eslora efectiva destinada a la carga. Pero debido a que dichas cubiertas se extienden mas a popa del codaste, no tendremos problema en utilizar como eslora efectiva para la carga, la eslora entre perpendiculares.
- **Bodega baja.** Dicha bodega presenta la ventaja de reducir el centro de gravedad del buque y de permitir reducir las dimensiones del buque debido al espacio de carga utilizado. Por otro lado, se ralentiza la carga y disminuye el espacio necesario para los tanques tanto de combustible, lastre, agua dulce, etc. Por tanto, se intentara no recurrir a dicha solución, si no es estrictamente necesaria.



- **Capacidad de carga.** De acuerdo con las especificaciones de proyecto, el buque tiene que ser capaz de albergar en su interior 650ml de tráileres y 300 coches. Para la generación de alternativas hemos tenido en cuenta unos cuantos datos, como son; ancho de tráiler mínimo de 3,1m, ancho de coche mínimo de 2,1m y longitud media de coche de 4,5m.
- **Manga.** Dependerá tanto de las líneas de rodadura para tráileres y coches, como de la elección de los tambuchos. Pero de ello hablaremos más detenidamente en el siguiente apartado de generación de alternativas.

3.2 Generación de alternativas

Para la generación de alternativas se ha procedido a estudiar por separado, soluciones con tambucho central y tambuchos laterales. Dentro de estas soluciones, se han estudiado diferentes alternativas en función de la relación eslora/manga, la cual será decisiva a la hora de elegir la configuración final de los espacios de carga.

3.2.1 Alternativa con tambucho central

Lo primero de todo que haremos, es realizar el cálculo de la manga, la cual debido a disponer tambucho central será;

$$B = n_{LR} * b_{LR} + b_T + n_P * b_P + b_R$$

Donde;

- n_{LR} = Número de líneas de rodadura (tráileres o coches).
- b_{LR} = Ancho de líneas de rodadura (tráileres o coches).
- b_T = 3m (Ancho de Tambucho).
- n_P = 2 (Numero de pasillos a ambos lados del tambucho central).
- b_P = 0,6m (Ancho de pasillos).
- b_R = 2*1m = 2m (Refuerzos en los costados).



Para la distribución interior hemos tenido en cuenta las siguientes premisas;

- No hemos contado como carril de rodadura el ancho del tambucho central, de esta forma podremos poner un número par de carriles a cada banda del tambucho. Al ser la longitud del tambucho central inferior a la eslora entre perpendiculares, utilizaremos esos metros lineales para compensar las zonas que no sean aprovechables debido a espacios necesarios para ventilaciones de la zona de carga, pañoles, etc.
- Debido a tener que alojar un total de 300 coches de una longitud media de 4,5 metros por unidad y 650 metros lineales de tráileres, será necesaria la disposición de dos cubiertas de carga, debido a que si solo disponemos de una, nos saldrá una longitud entre perpendiculares excesiva, que no se concuerda con ningún buque de nuestra base de datos. Se intentara separar en una de ellas los metros lineales de tráileres y en otra los metros lineales de coches, o al menos en parte, debido a tener que alojar 1350 ml. de coches frente a 650ml. de tráileres.
- Por motivo de no ser utilizables todos los metros lineales de cada carril calculados debido a los finos de proa, tendremos que tener en cuenta un exceso de metros lineales.

Una vez descritas todas las premisas procederemos al cálculo de la manga para diferentes números de carriles de tráileres;

Nº de carriles	B (m)
4	18,6
6	24,8
8	31

Si nos fijamos en la tabla de la base de datos, podemos ver que para buques con similar capacidad de carga, poseen una manga similar a la que nosotros hemos obtenido para seis carriles de tráileres. Las otras dos opciones se han descartado debido a que, la manga para cuatro carriles sería demasiado justa para cumplir los requerimientos de estabilidad, y por otra parte, la manga para 8 carriles de tráileres sería excesiva y se aleja del planteamiento inicial de conseguir una relación L/B alta.



Para dicha manga, podemos obtener en la cubierta principal de carga una combinación en la cual, puedan caber los 650ml. de tráileres repartidos en 6 carriles de 3,1m, mas una sección en proa con car deck, para el alojamiento del resto de coches que no quepan en la cubierta superior de carga, destinada exclusivamente a coches. Debido a que el ancho de coche es inferior al de tráiler, tanto en la cubierta superior como en la sección de proa de la cubierta principal de carga, podrán habilitarse 8 carriles de hasta 2,3m de ancho. Siendo el ancho de 6 carriles de tráileres de 3,1m igual a 8 carriles de coches de 2,3m

Una vez hallada la manga de nuestro buque, y tener una idea general de la distribución de la carga rodada. Podemos hallar el valor aproximado de la eslora entre perpendiculares, la cual, dependerá directamente de la relación L/B, y los metros lineales de carga necesarios. Para ello en la siguiente tabla hemos hallado posibles esloras entre perpendiculares para diferentes relaciones L/B, siendo la manga fija igual a 24,8m.

B con tambucho central (24,8 m)			
L/B	Lpp (m)	Capacidad por cubierta(ml.)	
		Cubierta Tráileres	Cubierta Coches
5,8	143,8	862,8	1150,4
5,9	146,3	877,8	1170,4
6,0	148,8	892,8	1190,4
6,1	151,3	907,8	1210,4
6,2	153,8	922,8	1230,4
6,3	156,2	937,2	1249,6
6,4	158,7	952,2	1269,6
6,5	161,2	967,2	1289,6
6,6	163,7	982,2	1309,6
6,7	166,2	997,2	1329,6
6,8	168,6	1011,6	1348,8
6,9	171,1	1026,6	1368,8
7,0	173,6	1041,6	1388,8

Por tanto para las diferentes posibles esloras, obtenemos la capacidad de carga correspondiente de las cubiertas tanto de tráileres como de coches. Para ello se ha multiplicado la eslora por el número de carriles, que como hemos comentado anteriormente serán 6 para tráileres y 8 para coches. Una vez obtenidas las capacidades de carga de las dos cubiertas, vemos que para colocar los 300 coches en una sola cubierta, necesitaríamos recurrir a una eslora de 171,1 metros, siendo una mala solución debido a que en la cubierta de tráileres nos quedarían muchos metros lineales sin aprovechar ($1026,7 - 650 = 376,7$).

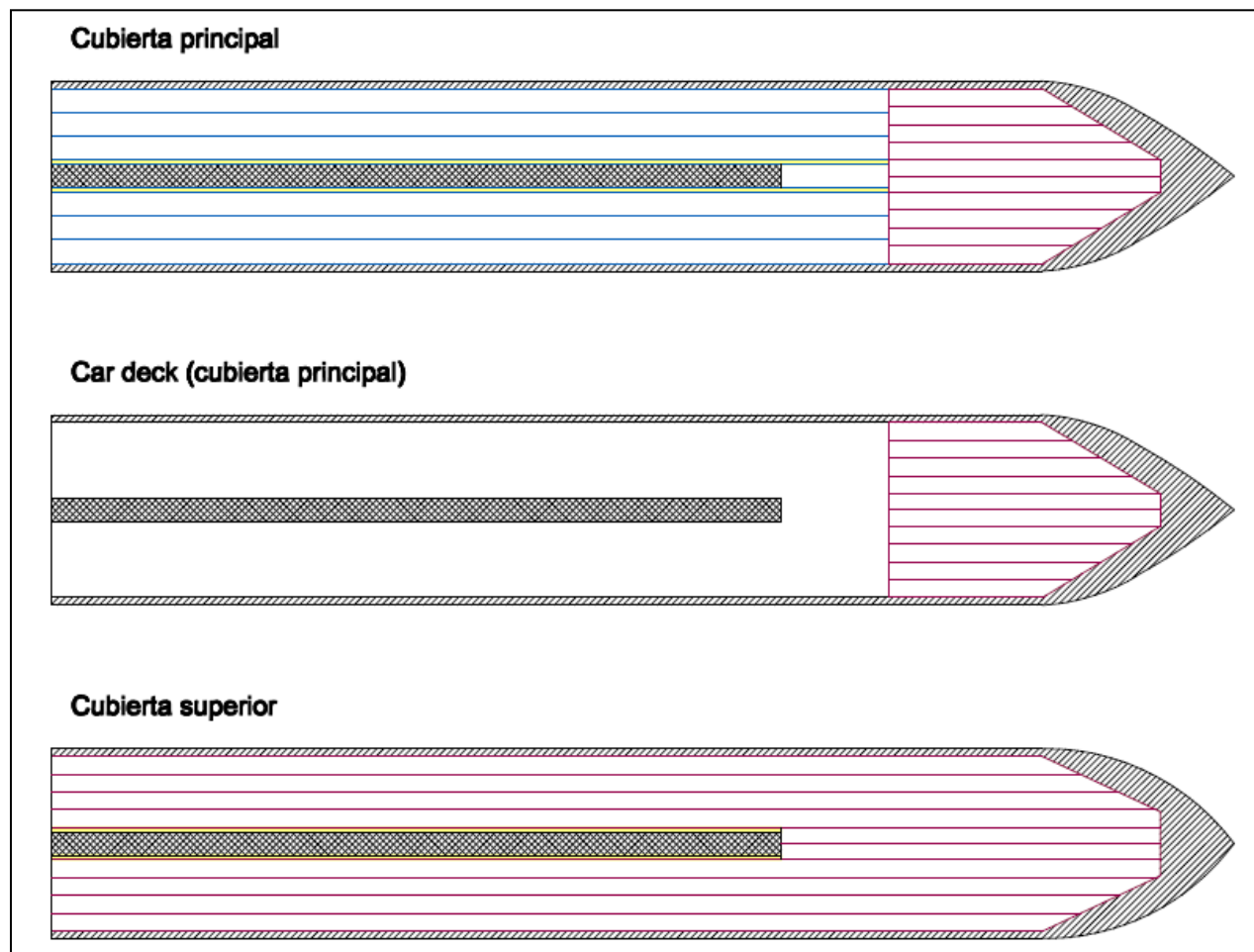


Por ello se recurre a la solución antes descrita de colocar coches en la cubierta de tráileres a doble altura en la proa. Como nuestro buque tiene que disponer de 650 ml. de tráileres y tenemos que distribuirlos en 6 carriles, necesitaremos un largo de carril de 108,3 metros, el cual ampliaremos a 118,3 metros por necesidades de maniobra y metros lineales de rampas que no sean utilizables. Por tanto, el resto de metros lineales de carga de dicha cubierta la podremos utilizar para los coches que no quepan en la cubierta superior.

Como los coches los distribuiremos en tres alturas de carga (cubierta principal, car deck y cubierta superior) que se ven afectadas por los finos de proa, hemos estimado un exceso de 15 coches (70ml.) por altura mas los metros lineales de rampa que no sean utilizables, los cuales hemos estimado en 40 ml. para una rampa de 15% de inclinación. Por todo ello tendremos que ser capaces de alojar 1600 ml. de coches [1350 ml. + (3x70 ml.)+40 ml.].

Podemos ver en la tabla, que para una relación L/B de 5,9, obtenemos una eslora entre perpendiculares de 146,3 m. Para la cual podemos alojar en la cubierta superior 1170,4 ml. de coches y en la cubierta principal 710 ml. de tráileres ocupando 116,7 metros de la eslora total, los restantes 28 m. se utilizarán para albergar los restantes 429,6 metros lineales de coches los cuales se dividirán entre la cubierta principal y el car deck.

Puede dar la sensación que se ha sido muy precavido a la hora de calcular los metros lineales en exceso, pero si comparamos la eslora obtenida con la de los buques similares al nuestro en cuanto a metros lineales de carga, de la base de datos, podemos ver que aun así tienen más eslora y por tanto más metros lineales en exceso.





3.2.2 Alternativa con tambuchos laterales

Lo primero de todo que haremos, es realizar el cálculo de la manga, la cual debido a disponer de tambuchos laterales será;

$$B = n_{LR} * b_{LR} + 2 * b_T + n_P * b_P$$

Donde;

- n_{LR} = Número de líneas de rodadura (tráileres o coches).
- b_{LR} = Ancho de líneas de rodadura (tráileres o coches).
- b_T = 3,5 m (Ancho de Tambucho).
- n_P = 2 (Numero de pasillos).
- b_P = 0,6m (Ancho de pasillos).

Para la distribución interior hemos tenido en cuenta las siguientes premisas;

- Al igual que en la opción de tambucho central debido a tener que alojar un total de 300 coches de una longitud media de 4,5 metros por unidad y 650 metros lineales de tráileres, será necesaria la disposición de dos cubiertas de carga. En las cuales se intentara separar en una de ellas los metros lineales de tráileres y en otra los metros lineales de coches, o al menos en parte, debido a tener que alojar 1350 ml. de coches frente a 650ml. de tráileres.
- Por motivo de no ser utilizables todos los metros lineales de cada carril calculados debido a los finos de proa, hemos descontado del total, 90ml. por cubierta. Por otra parte también tendremos que tener en cuenta 40 metros lineales no aprovechables debido a las rampas interiores.
- Para esta alternativa se ha decidido la optimización del dimensionamiento de la manga con el número de carriles de coches necesarios, debido a ser la superficie de coches mucho mayor que la de tráileres.

Una vez descritas todas las premisas procederemos al cálculo de la manga para diferentes carriles de coches de ancho 2,1m;

Nº de carriles	B (m)
6	20,8
7	22,9
8	25



Si nos fijamos en la tabla de la base de datos, podemos ver que para buques con similar capacidad de carga, poseen una manga similar a la que nosotros hemos obtenido para ocho carriles de coches. Las otras dos opciones se han descartado debido a que, por un lado la manga para 6 carriles sería demasiado justa para cumplir los requerimientos de estabilidad, pero por otra parte cabría pensar que la opción de 7 carriles no tendría porque ocurrirle lo mismo, pero sin embargo para esta manga en la cubierta de tráileres solo cabrían 4 carriles, necesitando una eslora para albergar los tráileres de 180 metros, mas los metros que ocuparan los coches que no cupieran en la cubierta principal, siendo una excesiva eslora.

Por tanto para una manga de 25 metros, podemos obtener en la cubierta principal de carga una combinación en la cual, puedan caber los 650ml. de tráileres repartidos en 5 carriles de hasta 3,35m, mas una sección en proa con car deck, para el alojamiento del resto de coches que no quepan en la cubierta superior de carga, destinada exclusivamente a coches. Debido a que el ancho máximo establecido para coches es de 2,1m, tanto en la cubierta superior de carga como en la sección de proa de la cubierta principal, podrán habilitarse 8 carriles.

Una vez hallada la manga de nuestro buque, y tener una idea general de la distribución de la carga rodada. Podemos hallar el valor aproximado de la eslora entre perpendiculares, la cual, dependerá directamente de la relación L/B, y los metros lineales de carga necesarios. Para ello en la siguiente tabla hemos hallado posibles esloras entre perpendiculares para diferentes relaciones L/B, siendo la manga fija igual a 25m.

B con tambucho central de (25m)			
L/B	Lpp (m)	Capacidad por cubiertas (ml.)	
		Cubierta Tráileres	Cubierta Coches
6,0	150,0	750,0	1200,0
6,1	152,5	762,5	1220,0
6,2	155,0	775,0	1240,0
6,3	157,5	787,5	1260,0
6,4	160,0	800,0	1280,0
6,5	162,5	812,5	1300,0
6,6	165,0	825,0	1320,0
6,7	167,5	837,5	1340,0
6,8	170,0	850,0	1360,0
6,9	172,5	862,5	1380,0
7,0	175,0	875,0	1400,0

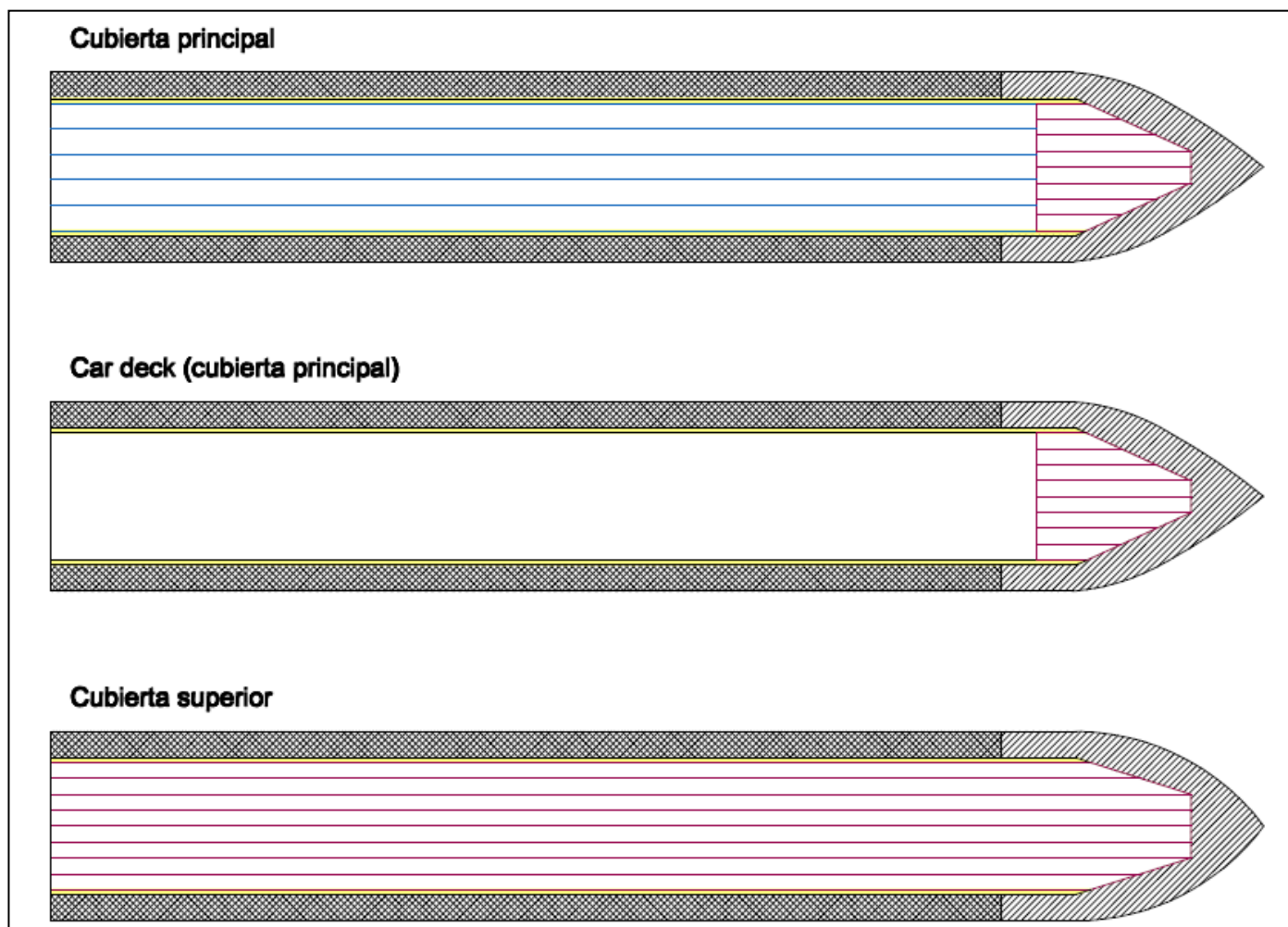


Por tanto para las diferentes posibles esloras, obtenemos la capacidad de carga correspondiente de las cubiertas tanto de tráileres como de coches. Para ello se ha multiplicado la eslora por el número de carriles, que como hemos comentado anteriormente serán 5 para tráileres y 8 para coches. Una vez obtenidas las capacidades de carga de las dos cubiertas, vemos que para colocar los 300 coches en una sola cubierta, necesitaríamos recurrir a una eslora de 170 metros, siendo una mala solución debido a que en la cubierta de tráileres nos quedarían muchos metros lineales sin aprovechar ($850 - 650 = 200\text{ml.}$).

Por ello se recurre a la solución antes descrita de colocar coches en la cubierta de tráileres a doble altura en la proa. Como nuestro buque tiene que disponer de 650 ml. de tráileres y tenemos que distribuirlos en 5 carriles, necesitaremos un largo de carril de 130 metros, el cual ampliaremos a 140 metros por necesidades de maniobra y metros lineales de rampas que no sean utilizables. Por tanto, el resto de metros lineales de carga de dicha cubierta la podremos utilizar para los coches que no quepan en la cubierta superior.

Como los coches los distribuiremos en tres alturas de carga (cubierta principal, car deck y cubierta superior) que se ven afectadas por los finos de proa, hemos estimado un exceso de 15 coches (70ml.) por altura mas los metros lineales de rampa que no sean utilizables, los cuales hemos estimado en 40ml para una rampa de 15% de inclinación. Por todo ello tendremos que ser capaces de alojar 1600ml. de coches [$1350\text{ml.} + (3 \times 70\text{ml.}) + 40\text{ml.}$].

Podemos ver en la tabla, que para una relación L/B de 6,4, obtenemos una eslora entre perpendiculares de 160 m. Para la cual podemos alojar en la cubierta superior 1280 ml. de coches y en la cubierta principal 700 ml. de tráileres ocupando 140 metros de la eslora total, los restantes 20m. se utilizarán para albergar los restantes 320 metros lineales de coches los cuales se dividirán entre la cubierta principal y el car deck.





4. SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DEFINITIVA

Una vez halladas las dos mejores soluciones, tanto con tambucho central como con tambuchos laterales, tendremos que discernir cual será la mejor opción. Aunque la gran mayoría de buques similares al nuestro, suelen tener tambucho central, hemos decidido quedarnos con la opción de tambuchos laterales por los siguientes motivos;

- Una de las principales razones por la que hemos descartado la opción de tambucho central frente a la de tambuchos laterales, es la baja relación L/B que hemos obtenido en la primera opción (5,9) frente a la segunda (6,4), la cual debido a la alta velocidad a la que por especificaciones de nuestro proyecto navegará nuestro buque, no resulta lo más conveniente, si tenemos en cuenta el aumento del consumo que dicha solución tendría respecto a la segunda, a parte del aumento incesante del precio del combustible. Por tanto, es preciso creer que a largo plazo la segunda opción es la más rentable, aunque la primera en cuanto a espacio de carga sea la opción más optimizada.
- Otro posible problema que la solución del tambucho central tiene frente a la de tambuchos laterales, es el gran espacio que será necesario para la exhaustación de los motores principales, debido a la alta velocidad de la que ya hemos hablado anteriormente, es lógico pensar, en la cantidad de potencia que se va a tener que suministrar, la cual estimamos que estará cerca de los 40.000kW. Por todo ello creemos que la opción de tambuchos laterales podrá ser más beneficiosa.
- Por otra parte, debido a tener el espacio de carga totalmente diáfano, las maniobras que se tengan que realizar en los espacios de carga serán más sencillas, optimizando el tiempo de carga tanto de tráileres como de coches, y por tanto el tiempo en puerto, el cual repercute directamente en los costes.
- Por último, está demostrado que los buques obtiene mejor estabilidad después de averías, si disponen, tambuchos laterales en vez de tambucho central.



5. SUPERFICIE DE HABILITACIÓN

5.1 Determinación de la superficie necesaria

- Espacio de pasaje

Espacio de habitación				Reparto por cubiertas			
Espacios pasaje	m ² /ud.	Nº ud.	área (m ²)	1ª Cub.	2ª Cub.	3ª Cub.	4ª Cub.
Camarote cuádruple con aseo	12,8	40	512	512	-	-	-
Pasillos (25% sup. Camarotes)	-	-	128	128	-	-	-
Recepción	-	-	100	100	-	-	-
Salones pasajeros butacas	3,5	640	2240	-	2240	-	-
Salones pasajeros camarotes	2	160	320	-	320	-	-
Comedor autoservicio	1,7	800	1360	1360	-	-	-
Superficie total espacios de pasaje (m ²)			4.660				

- Espacio de tripulación

Espacio de habitación				Reparto por cubiertas			
Espacios tripulación	m ² /ud.	Nº ud.	área (m ²)	1ª Cub.	2ª Cub.	3ª Cub.	4ª Cub.
Camarote capitán	30	1	30	-	-	30	-
Camarote jefe máquinas	30	1	30	-	-	30	-
Camarotes oficiales puente	12,8	3	38,4	-	-	38,4	-
Camarotes oficiales máquinas	12,8	3	38,4	-	-	38,4	-
Camarotes oficiales sobrecargos	12,8	3	38,4	-	-	38,4	-
Camarote médico	12,8	1	12,8	-	-	12,8	-
Camarote armador	30	1	30	-	-	30	-
Camarote individual con aseo	12,8	27	345,6	-	-	345,6	-
Comedor y/o sala estar oficiales	-	-	60	-	-	60	-
Comedor y/o sala estar tripulación	-	-	100	-	-	100	-
Pasillos (25% sup. Camarotes)	-	-	140,9	-	-	140,9	-
Sala de reuniones	-	-	20	-	-	20	-
Oficios	10	2	20	-	-	20	-
Superficie total espacios de tripulación (m ²)			905				



- Restos de espacios de habitación.

Espacio de habitación				Reparto por cubiertas			
Restos de espacios de hab.	m ² /ud.	Nº ud.	área (m ²)	1ª Cub.	2ª Cub.	3ª Cub.	4ª Cub.
Cocina (1 sola)	0,60	840	504	450	30	24	-
Gambuza	0,45	840	378	358	10	10	-
Oficinas	10	2	20	-	-	-	20
Puente de navegación	-	-	160	-	-	-	160
Escaleras/Ascensores (5% sup. Total)	-	-	371	150	150	60	11
Otros espacios tambucho	-	-	100	25	25	25	25
Aseos	-	-	80	30	30	15	5
Aire Acondicionado (4% total)	-	-	297	-	-	297	-
Generador de emergencia	-	-	15	-	-	15	-
Baterías	-	-	10	-	-	10	-
Lavandería	-	-	15	-	-	15	-
Armarios y pañoles (1.25% total)	-	-	93	34	34	20	14
Control CI	10	3	30	10	10	10	-
Enfermería	-	-	20	20	-	-	-
Superficie del resto de espacios de habitación (m ²)			2.115				

Superficie de habitación total necesaria (m²)

7.680

5.2 Determinación del número de cubiertas de habitación

Una vez hallada la superficie total necesaria, si la comparamos con la habitación de buques de similar pasaje, vemos como dicha superficie, suele repartirse en cuatro cubiertas. Debido a ello, hemos distribuido todos los espacios de habitación en cuatro cubiertas, como se muestra en las tablas. De tal forma, que las dos primeras cubiertas se encuentran los espacios de pasaje y en las otras dos la tripulación. La cuarta cubierta únicamente se ha habilitado para que el puente de mando tuviera la máxima visibilidad.



6. PUNTALES

- Puntal a la cubierta principal.

Puntal a la cubierta principal.	
Altura doble fondo (m)	2,0
Altura libre cámara de máquinas (m)	6,0
Refuerzos (m)	0,9
Margen (m)	0,1
Puntal a la cubierta principal, Hp (m)	9,0

- Altura de cubiertas de carga.

Altura de cubiertas de carga.	
Altura libre tráileres (m)	4,9
Altura (Car deck) (m)	0,3
Refuerzos (m)	0,8
Margen (m)	0,1
Altura cubierta inferior de carga (m)	6,1
Puntal a cubierta superior, Hs (m)	15,1
Altura libre coches (m)	2,7
Refuerzos (m)	0,8
Margen (m)	0,15
Altura cubierta superior de carga (m)	3,65



- Altura de cubiertas de habitación.

Altura de cubiertas de habitación.	
Altura libre (m)	2,1
Refuerzos y margen (m)	0,8
Altura 1ª Cubierta habitación (m)	2,9
Altura libre (m)	2,3
Refuerzos y margen (m)	0,8
Altura 2ª Cubierta habitación (m)	3,1
Altura libre (m)	2,1
Refuerzos y margen (m)	0,8
Altura 3ª Cubierta habitación (m)	2,9
Altura libre (m)	2,1
Refuerzos y margen (m)	0,8
Altura 4ª Cubierta habitación (m)	2,9

Como ya se comento anteriormente la habitación se repartirá en cuatro cubiertas, de las cuales, las dos primeras estarán habilitadas para la acomodación del pasaje, y las restantes a tripulación. La segunda cubierta tiene un poco mas de altura debido a encontrarse los salones de acomodación.

Por tanto, una vez descritos los puntales y las alturas de los espacios tanto de carga como de habitación, podemos hallar el puntal al techo, el cual será;

Puntal al techo	
Hp (m)	9,00
Altura cub. inferior de carga (m)	6,10
Altura cub. superior de carga (m)	3,65
Altura 1ª Cubierta habitación (m)	2,90
Altura 2ª Cubierta habitación (m)	3,10
Altura 3ª Cubierta habitación (m)	2,90
Altura 4ª Cubierta habitación (m)	2,90
Puntal al techo, Ht (m)	30,55



7. PESO EN ROSCA

Para la obtención tanto del peso en rosca, como de su posición del centro de gravedad, utilizaremos el método de la silueta.

7.1. Estimación peso en rosca

En primer lugar, escogeremos un buque base, del cual, realizando una serie de modificaciones podremos obtener el buque equivalente. Para ello tendremos que modificar tanto la eslora como la manga de las diferentes cubiertas de habilitación, para conseguir la misma proporción que la superestructura de nuestro buque. Con el fin de simplificar los cálculos, se han considerado las cubiertas de pasaje como rectángulos de igual área y posición del centro de gravedad, de las cubiertas tanto del buque base como del buque de proyecto.

Buque base;

El buque base escogido para realizar dichas estimaciones, será el buque Sorolla del cual hemos podido conseguir todos los datos que son necesarios para la obtención de los posteriores cálculos.

Buque base	Buque Sorolla
Lpp(m)	157
B(m)	26,2
Hp(m)	9,2
Hs(m)	14,84
LWT (tons)	11773
XG(m)	67,89
KG(m)	13,26

Buque Base	L(m)	% lpp	B(m)	%B	H(m)	h(m)
1ª Cubierta (m)	145,79	92,86%	26,20	100%	21,4	2,8
2ª Cubierta (m)	139,62	88,93%	25,09	95,75%	24,2	3,0
3ª Cubierta (m)	134,56	85,71%	16,72	63,83%	27,2	3,0
4ª Cubierta (m)	56,06	35,71%	11,15	42,55%	30,2	2,8

**Buque proyecto;**

Para el reparto de los metros cuadrados de habitación entre las diferentes cubiertas se ha tenido en cuenta, uno de los criterios principales, el cual es conseguir una buena posición del centro de gravedad.

Buque Proyecto	
Lpp(m)	160,0
B(m)	25,0
Hp(m)	9,0
Hs(m)	15,1

Buque Proyecto	L(m)	% lpp	B(m)	%B	H(m)	h(m)
1ª Cubierta (m)	151,4	94,63%	21	84%	18,75	2,9
2ª Cubierta (m)	142,0	88,75%	20	80%	21,65	3,1
3ª Cubierta (m)	97,7	53,48%	15	60%	24,75	2,9
4ª Cubierta (m)	9,4	5,90%	25	100%	27,65	2,9

Buque equivalente;

Este buque tendrá las mismas dimensiones que el buque base, exceptuando la superestructura que será proporcional a la del buque proyecto, como ya hemos explicado al principio.

Buque Equivalente	L(m)	% lpp	B(m)	%B	H(m)	h(m)
1ª Cubierta (m)	148,56	94,63%	22,0	84%	21,4	2,8
2ª Cubierta (m)	139,34	88,75%	21,0	80%	24,2	3,0
3ª Cubierta (m)	83,96	53,48%	15,7	60%	27,2	3,0
4ª Cubierta (m)	9,26	5,90%	26,2	100%	30,2	2,8



En segundo lugar, una vez hallada la superestructura de nuestro buque equivalente, podremos hacer la estimación del peso en rosca de la superestructura, tanto del buque base como del equivalente. Se utilizará una estimación de 45kg/m^3 para el acero y 140kg/m^2 para el armamento.

	Buque base		Buque equivalente	
	Peso acero	Peso armamento	Peso acero	Peso armamento
1ª Cubierta (m)	481,28	534,76	411,96	457,74
2ª Cubierta (m)	472,85	490,36	394,27	408,87
3ª Cubierta (m)	303,80	315,05	178,19	184,79
4ª Cubierta (m)	78,75	87,50	30,58	33,98
Superestructura	1336,69	1427,68	1015,00	1085,37

Después de obtener dichos datos, podemos hallar el peso en rosca del buque equivalente, restando al peso en rosca del buque base la diferencia entre el peso en rosca de la superestructura del buque equivalente y la del buque base.

LWT superestructura	Buque base	Buque equivalente	Diferencia
	2764,36	2100,37	663,99

Por tanto el peso en rosca del buque equivalente será de;

LWT buque equivalente (tons)	11109
-------------------------------------	--------------



Finalmente el peso en rosca del buque proyecto se determina a partir del propio buque equivalente mediante la siguiente expresión:

$$\frac{LWT_{Proyecto}}{AL_{Proyecto} \cdot B_{Proyecto}^{0,8}} = \frac{LWT_{Equivalente}}{AL_{Equivalente} \cdot B_{Equivalente}^{0,8}}$$

Área lateral proyecto (m ²)	4236,55
Área lateral equivalente (m ²)	4408,81
LWT Proyecto (tons)	10282

7.2. Estimación del centro de gravedad del peso en rosca

Para hallar el centro de gravedad del peso en rosca del buque de proyecto, al igual que hemos realizado en el apartado anterior, en la obtención del peso en rosca, primero hallaremos los centros de gravedad de las cubiertas de habilitación tanto del buque base como del equivalente.

Buque Base	LWT	KG	LWT*KG	XG	LWT*XG
1ª Cubierta (m)	1016,04	22,75	23114,93	72,90	74064,41
2ª Cubierta (m)	963,21	25,65	24706,32	72,05	69399,29
3ª Cubierta (m)	618,86	28,65	17730,24	76,81	47535,82
4ª Cubierta (m)	166,25	31,55	5245,31	112,03	18625,82

Buque Equivalente	LWT	KG	LWT*KG	XG	LWT*XG
1ª Cubierta (m)	869,70	22,75	19785,60	77,28	67210,69
2ª Cubierta (m)	803,14	25,65	20600,58	81,67	65591,55
3ª Cubierta (m)	362,97	28,65	10399,22	84,98	30846,24
4ª Cubierta (m)	64,56	31,55	2036,73	134,63	8691,23



Una vez hallados los centros de gravedad de cada cubierta, tendremos el centro de gravedad de la superestructura de cada barco. Como tanto el buque base como el equivalente, solo se diferencian en la superestructura, podremos hallar el centro de gravedad del buque equivalente, al igual que lo hemos hecho en la obtención del peso en rosca.

Superestructura	LWT	KG	LWT*KG	XG	LWT*XG
Buque base	2764,36	25,61	70796,81	75,83	209625,346
Buque equivalente	2100,37	25,15	52822,13	82,05	172339,714

Hallaremos el centro de gravedad del buque equivalente, sumando al centro de gravedad del buque base la diferencia entre el centro de gravedad de la superestructura del buque equivalente y la del buque base. De esta forma obtendremos;

KG Equivalente	12,80
XG Equivalente	74,11

También necesitaremos obtener los centros de gravedad de las áreas laterales tanto del buque equivalente como del buque proyecto.

Buque Equivalente	L(m)	h(m)	KG(m)	KG*AL(m3)	XG(m)	XG*AL(m3)
Hasta sup. Habilita.	157,00	21,4	10,70	35949,86	78,50	263744,30
1ª Cubierta (m)	148,56	2,8	22,80	9484,15	77,28	32146,54
2ª Cubierta (m)	139,34	3	25,70	10742,92	81,67	34138,56
3ª Cubierta (m)	83,96	3	28,70	7229,27	84,98	21406,13
4ª Cubierta (m)	9,26	2,8	31,60	819,59	134,63	3491,86

Buque Proyecto	L(m)	h(m)	KG(m)	KG*AL(m3)	XG(m)	XG*AL(m3)
Hasta sup. Habilita.	160,00	18,75	9,38	28125,00	80,00	240000,00
1ª Cubierta (m)	151,4	2,9	20,20	8869,01	83,70	36749,32
2ª Cubierta (m)	142	3,1	23,20	10212,64	89,00	39177,80
3ª Cubierta (m)	95,7	2,9	26,20	7271,29	105,24	29207,26
4ª Cubierta (m)	9,4	2,9	29,10	793,27	143,70	3917,26



Una vez hallados los centros de gravedad de las áreas laterales de las cubiertas tanto del buque equivalente como del buque de proyecto, podremos hallar el centro de gravedad del área total de los buques.

Buque Proyecto		Buque Equivalente	
KG Área Lateral (m)	13,05	KG Área Lateral (m)	14,57
XG Área Lateral (m)	82,39	XG Área Lateral (m)	80,5

Por último, para obtener la estimación del centro de gravedad del buque de proyecto utilizaremos las siguientes expresiones;

$$\frac{KG_{Proyecto}}{KG_{A.L.Proyecto}} = \frac{KG_{Equivalente}}{KG_{A.L.Equivalente}}$$

$$\frac{XG_{Proyecto}}{XG_{A.L.Proyecto}} = \frac{XG_{Equivalente}}{XG_{A.L.Equivalente}}$$

KG LWT Proyecto	11,46
XG LWT Proyecto	75,85



8. PESO MUERTO

8.1. Desglose

Según las especificaciones de nuestro proyecto, tenemos un peso muerto de 4000TPM. En la siguiente tabla se detalla el desglose del peso muerto en los diferentes elementos que lo componen.

Desglose peso muerto (tons.)		
Combustible HFO		1174
Combustible MDO		340
Aceite	(6% combustible)	70
Agua dulce necesaria diaria	(0,2tons/día y persona)	210
Pasajeros 0.12 tons/persona	0.125 tons/persona	100
Tripulantes 0.1 tons/tripulante	0.1 tons/tripulante	4
Viveres		30
Cargos y pertrechos		20
Tanques anti-heeling		250
Carga cub. Ppal		1369
Carga cub. Sup.		403
Elementos sueltos estiba		30

Para la estimación del peso de cada elemento hemos considerado el desglose del peso muerto de buques de características similares al nuestro. Para el cálculo de las toneladas de combustible HFO necesarias, hemos tenido en cuenta las especificaciones siguientes;

- Velocidad: 26 nudos al 85% MCR en pruebas.
- Autonomía: 4000 millas al 85% MCR y 15% margen de mar.
- Consumo específico: 180 g/ (kW*h).
- Potencia servicio estimada: 40.000kW.

La potencia es una estimación preliminar, que hemos obtenido de la comparación con buques de similares características propulsivas. Más adelante, cuando dispongamos de todos los datos necesarios se podrá obtener una estimación más aproximada, mediante un programa de cálculo de potencia.



8.2 Posición del centro de gravedad del peso muerto

Para hallar la posición del centro de gravedad del peso muerto, hemos tenido en cuenta las siguientes premisas;

- Combustible, aceite y aguadulce: Posición equivalente a la que ocupan en el buque base.
- Carga: El centro de gravedad estará situado más o menos a la mitad de la longitud de la cubierta, menos en la cubierta principal que la carga de coches y tráileres es mixta.
- Pasajeros: La posición de su centro de gravedad se determina mediante un promedio ponderado que considera, las áreas de las dos cubiertas de habitación destinadas al pasaje y las posiciones de los centros de gravedad de estas.
- Tripulación: Al igual que para los pasajeros, la posición del centro de gravedad se determina mediante un promedio ponderado que considera, las áreas de las dos cubiertas de habitación destinadas a la tripulación y las posiciones de los centros de gravedad de estas.
- Víveres: Suelen estar dispuestos en las cocinas y los salones. Por tanto se encontraran en la segunda cubierta de habitación.
- Cargos y pertrechos: En la posición media de la superficie de habitación.
- Tanques anti-heeling: Centro de gravedad situado entre el doble fondo y la cubierta de habitación a la mitad de la eslora.
- Elementos sueltos de estiba: Posición media de las cubiertas de carga.



Una vez descritas las directrices de todos los centros de gravedad del desglose del peso muerto, podemos calcular su centro de gravedad.

Desglose peso muerto		KG	KG*DWT	XG	XG*DWT
Combustible HFO	1174	4,88	5727,03	91,60	107499,14
Combustible MDO	340	4,50	1530,00	102,50	34850,00
Aceite	70	0,60	42,25	66,50	4682,55
Agua dulce necesaria diaria	210	3,50	735,00	42,60	8946,00
Pasajeros 0.12 tons/persona	100	22,50	2249,94	86,17	8617,22
Tripulantes 0.1 tons/tripulante	4	25,45	101,80	86,17	344,69
Viveres	30	20,20	606,00	83,70	2511,00
Cargos y pertrechos	20	22,69	453,82	90,04	1800,78
Tanques anti-heeling	250	11,50	2875,00	81,60	20400,00
Carga cub. Ppal	1369	12,50	17116,25	65,80	90099,94
Carga cub. Sup.	403	17,43	7027,78	75,00	30240,00
Elementos sueltos estiba	30	14,35	430,50	80,00	2400,00

Peso Muerto(tons)	4000
KG (m)	9,72
XG (m)	78,10



9. DESPLAZAMIENTO

Una vez calculado el peso en rosca, con el peso muerto definido en las especificaciones tenemos lo necesario para obtener el desplazamiento, el cual será;

$$\Delta = \text{Peso en rosca} + \text{Peso muerto} = LWT + DWT = 14282 \text{ tons}$$

Para obtener el centro de gravedad del desplazamiento, se utilizara la media ponderada de los valores respectivos del peso en rosca y el peso muerto.

$$KG_{\Delta} = \frac{LWT * KG_{LWT} + DWT * KG_{DWT}}{\Delta}$$

$$XG_{\Delta} = \frac{LWT * XG_{LWT} + DWT * XG_{DWT}}{\Delta}$$

Desplazamiento (tons)	14282
KG (m)	10,98
XG (m)	76,48



10. ESTABILIDAD DEL BUQUE INTACTO

10.1. Calado y coeficiente del bloque

Para la obtención del calado se tendrá en cuenta, por un lado, la necesidad de que el francobordo se encuentre entre el intervalo (2.5, 3.2) m, y por otro lado, el valor del coeficiente de bloque correspondiente este entre el intervalo (0.57, 0.63).

Expresión del coeficiente de bloque;

$$C_B = \frac{\Delta}{1,025 * L_{pp} * B * T}$$

En la siguiente tabla podemos ver para una serie de valores del coeficiente de bloque, como varían los valores del calado y el francobordo.

CB	T(m)	Fb(m)
0,570	6,11	2,89
0,575	6,06	2,94
0,580	6,00	2,99
0,585	5,95	3,05
0,590	5,90	3,10
0,595	5,85	3,15
0,600	5,81	3,19
0,605	5,76	3,24
0,610	5,71	3,29

Debido a la alta velocidad de nuestro buque, nos interesan formas finas con un valor del coeficiente de bloque relativamente bajo, sin descuidar que el valor del calado se encuentre en el intervalo de valores de buques similares. Por ello, hemos escogido un $C_B = 0,58$, obteniendo un francobordo, que se encuentra entre el intervalo (2.5 , 3.2), nuestro calado será 6,0 m.



10.2 Coeficiente de la flotación

El coeficiente de la flotación se obtiene de la siguiente expresión;

$$\alpha = C_2 + 0,1$$

Donde C_2 ;

$$C_2 = \frac{12 * CM * C_B * T}{B^2}$$

Para ello primero tendremos que calcular el valor de CM de la siguiente expresión;

$$CM = KM - KC$$

$$KM = KG + GM$$

El valor de KG se determino en el apartado anterior, y el valor de GM lo impondremos nosotros, sabiendo que para este tipo de buques se encuentra entre (0.09B, 0,102B). Por tanto nuestro valor de GM será;

$$GM = 0,09 * B = 2,25 \text{ m}$$

Otro dato que desconocemos es el valor de KC que lo obtendremos de la siguiente relación;

$$KC = C_1 * T$$

El coeficiente C_1 lo obtendremos mediante la expresión de Riddlesworth;

$$C_1 = 0,8333 - \frac{1,33 * C_B}{1 + 3 * C_B} = 0,55$$

$C_2 = (12 * CM * C_B * T) / B^2$	0,66
$CM = KM - KC$	9,91
$KM = KG + GM$	13,23
$GM = 0.096 * B$	2,25
$KC = C_1 * T$	3,31
$C_1 = 0.8333 - ((1.33 * C_B) / (1 + 3 * C_B))$	0,55

Por tanto el coeficiente de la flotación valdrá;

α	0,76
----------	------



10.3 Coeficiente de la maestra y coeficiente prismático

Estos coeficientes se obtienen directamente aplicando las siguientes formulas;

$$\beta = 1 - 0,062 * Fn^{0,792} \quad C_P = \frac{C_B}{\beta}$$

Donde el numero de Froude para la velocidad de 26 nudos será de $Fn = 0,337$.

C_P	0,596
β	0,97

10.4 Posición longitudinal del centro de carena

Para la obtención de la posición longitudinal del centro de carena utilizaremos la expresión de L. Troost;

$$X_{CC} = (17,5 * C_B - 12,5) * \frac{L_{pp}}{100}$$

$X_{CC} (\%)$	-2,35
$X_{CC} (m)$ Respecto maestra	-3,76

La diferencia entre el valor obtenido y el de la posición longitudinal del desplazamiento es de 0,24m, por lo que el trimado será aproximadamente de 0,12m y no será necesaria una corrección del trimado.

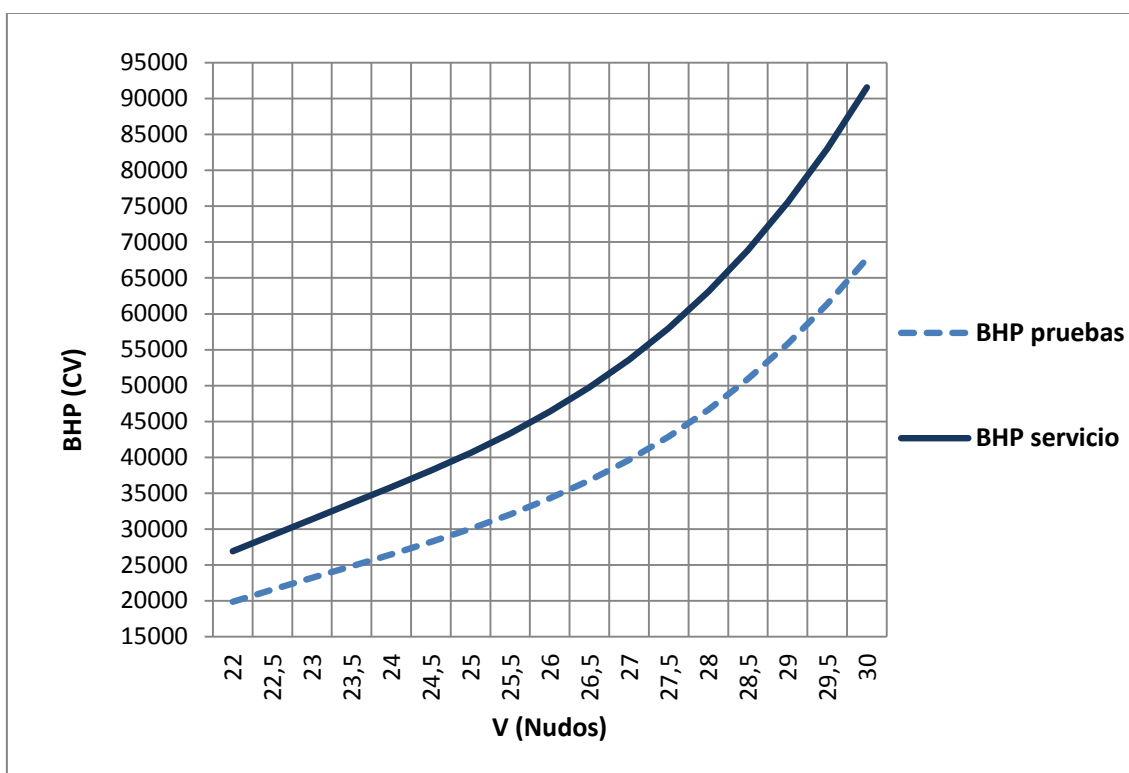
$$Trimado \approx \frac{X_{CC} - X_G}{2} = 0,12m$$



11. ESTIMACIÓN DE LA POTENCIA PROPULSORA

La determinación de la potencia propulsora requiere conocer la resistencia al avance del buque. Uno de los procedimientos más extendidos para su cálculo es el método de Holtrop-Mennen, y es el que hemos utilizado.

Se ha empleado un programa proporcionado por la Cátedra de Motores y Máquinas Marinas que, introduciendo las principales características de la carena, devuelve valores de la potencia efectiva para una serie de velocidades. Considerando un rendimiento propulsivo de 0,65 obtendremos la curva BHP en pruebas, la cual multiplicaremos por la relación de regímenes de pruebas y por 1,15 (especificaciones de margen de mar 15%), para obtener la curva de BHP de servicio.



V(nudos)	BHP servicio (CV)	Potencia (kW)
26	46348	34112



12. RESULTADOS

Una vez realizados los cálculos preliminares de nuestro proyecto, hemos recopilado todos los datos hallados, en la siguiente tabla;

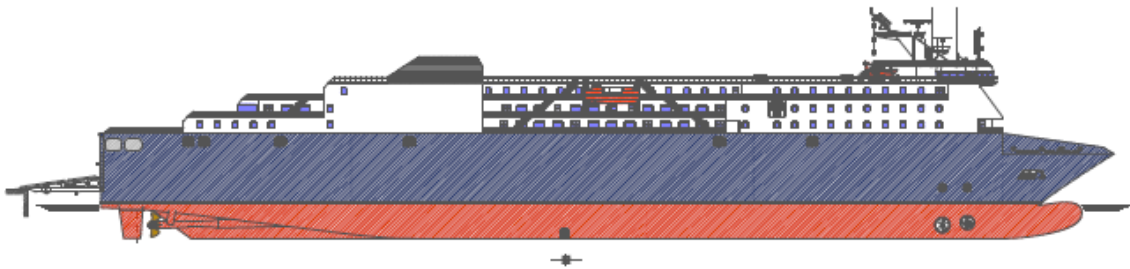
Lpp (m)	160
B (m)	25
T (m)	6,0
Puntal a cubierta principal, Hp (m)	9,0
Puntal a cubierta superior, Hs (m)	15,1
Peso muerto, TPM (tons)	4000
Peso en rosca, LWT (tons)	10282
Desplazamiento, (tons)	14282
KG Proyecto (m)	10,98
XG Proyecto (m)	76,48
Fb (m)	2,99
C_B	0,58
α	0,76
C_p	0,596
β	0,97
Xcc (%)	-2,35
Xcc (m) Respecto maestra	-3,76
Potencia de servicio estimada (kW)	34112



Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales

Proyecto Fin de Carrera nº034

ROPAX 4000 TPM



Cuaderno 3

Formas

Tutor:

José María Riola Rodríguez

Alumno:

Francisco Sastre Guasch



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	3
2. OBTENCIÓN DE LAS FORMAS DEL BUQUE	4
3. CARACTERÍSTICAS DE LAS FORMAS OBTENIDAS.....	5
3.1. Resultados	5
3.2. Formas de proa	6
3.2.1. Perfil	6
3.2.2. Forma de las secciones.....	7
3.2.3. Semiángulo de entrada de la flotación	8
3.3. Formas de popa.....	8
3.3.1. Perfil	8
3.3.2. Forma de las secciones.....	8
4. CURVA DE ÁREAS SECCIONALES.....	9
5. COMPROBACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE REQUISITOS	11
5.1. Capacidad de carga	11
5.2. Posición de la hélice	13
5.3. Espacio para el servomotor.....	13
5.4. Espacio para la cámara de máquinas	13
6. IMÁGENES DEL CASCO OBTENIDO	14
ANEXO 1.	15



1. INTRODUCCIÓN

En este cuaderno vamos a determinar las formas de nuestro buque proyecto, intentando aproximarnos lo máximo posible a los valores obtenidos en el cuaderno de dimensionamiento, los cuales, no tienen por qué ser todos correctos, debido a ser una primera aproximación.

Las formas de nuestro buque proyecto deben cumplir dos condiciones básicas y aparentemente opuestas. Por un lado, debemos disponer de suficiente espacio de carga, para garantizar la cabida exigida en las especificaciones del proyecto, mientras que por otro lado, debemos minimizar la resistencia al avance de nuestro buque a fin de alcanzar la velocidad de servicio requerida, utilizando la menor potencia posible.

Para el modelado y el estudio de las formas se ha utilizado el siguiente software: Rhinoceros, Excel, AutoCad y Maxsurf.



2. OBTENCIÓN DE LAS FORMAS DEL BUQUE

Para la obtención de las formas del buque se ha realizado el procedimiento siguiente:

1. Debido a que no se disponía de las formas del buque base para la obtención de las propias de nuestro buque proyecto, se ha partido de las formas de un buque ferry cedidas por el tutor. Estas formas se han modelado y reproducido de nuevo, haciendo uso del programa Rhinoceros, el cual, permite obtener de forma relativamente sencilla un buque similar al de proyecto, modificando las dimensiones principales de eslora, manga y calado.

2. Para la obtención de las formas de nuestro buque, se ha sometido al buque de partida, a una transformación afín con el objeto de adecuar las dimensiones principales, como ya hemos mencionado en el apartado anterior, para ello, hemos tenido que multiplicar a las dimensiones del buque base, por los siguientes coeficientes:

$$x = \frac{L_{PP}}{L_{PP\ Base}} \quad y = \frac{B}{B_{Base}} \quad z = \frac{T}{T_{Base}}$$

3. Una vez obtenidas las formas escaladas a las dimensiones requeridas, tendremos que modificar los coeficientes que sean pertinentes. Para ello utilizaremos el programa Maxsurf, el cual posee una opción, para realizar las transformaciones paramétricas que sean necesarias, a fin de obtener un buque lo más similar al obtenido, en el cuaderno del dimensionamiento.

4. Por último, cuando obtengamos unas formas que cumplan los datos principales de nuestro buque proyecto, podremos hallar los cálculos hidrostáticos y la curva de áreas del buque proyecto.



3. CARACTERÍSTICAS DE LAS FORMAS OBTENIDAS

Una vez halladas las formas que más se asimilan a las características, que en primera instancia calculamos en el cuadernillo del dimensionamiento, tenemos todos los datos necesarios para poder hacer una comparación entre ambos valores.

3.1. Resultados

En la siguiente tabla podemos comparar los valores hallados en el cuaderno de dimensionamiento y los obtenidos tras determinar las formas.

	Dimensionamiento	Resultados
Desplazamiento (tons)	14282	14282
Lpp (m)	160	160
B (m)	25	25
T (m)	6,0	6,0
C_B	0,58	0,58
α	0,77	0,79
C_p	0,596	0,59
β	0,97	0,98
Xcc (%)	-2,35	-2,35
Xcc (m) Respecto maestra	-3,76	-3,76
KMt (m)	13,39	14,64

Mediante las transformaciones paramétricas pertinentes, se ha intentado obtener unos valores, lo más similar posible, a los obtenidos en el dimensionamiento del primer cuaderno.

Algunos de ellos distan un tanto por ciento apreciable, entre el valor hallado en el dimensionamiento y el obtenido mediante el análisis de las formas. En estos casos utilizaremos los valores obtenidos mediante el estudio de las formas, debido a que muchos de los valores hallados en el dimensionamiento, son en base a fórmulas empíricas o rangos habituales, que no tiene por qué cumplirse.



3.2. Formas de proa

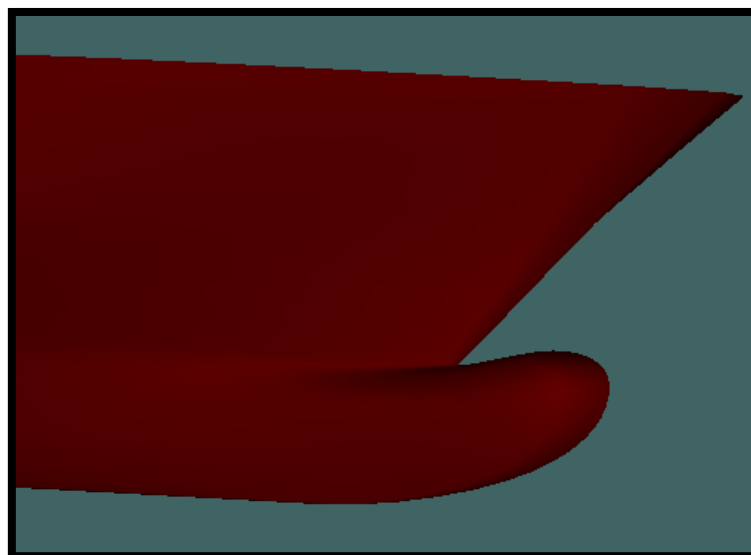
Para describir las formas de proa de nuestro buque, tendremos que hablar del perfil del buque, de la forma de las secciones que conforman el cuerpo de proa y de la sección de la proa a la altura de la flotación.

3.2.1. Perfil

El buque posee proa lanzada, siendo el ángulo de lanzamiento de 36 grados. Una proa lanzada presenta las siguientes ventajas frente a un cuerpo de proa con un ángulo superior al nuestro:

- Efecto de desvío del agua (water-deflecting effect).
- Incrementa la reserva de empuje.
- Mayor protección frente a colisiones.

Nuestro buque, debido a sus valores tanto de eslora entre perpendiculares como de coeficiente de bloque, resulta conveniente el bulbo de proa. El cual, permite la reducción de la resistencia por formación de olas, de la resistencia por formación de olas rompientes y de la resistencia residual de carácter viscoso. La determinación de la forma óptima del bulbo requiere la realización de ensayos hidrodinámicos, por lo que en nuestro proyecto se decide optar por tomar la forma del bulbo del buque base, el cual tiene forma de peonza. Este tipo de bulbos se suele utilizar en buques con dos condiciones de carga muy diferenciadas, plena carga y lastre, y presentan buen comportamiento en mala mar, soportando mejor el slamming.





Las características principales del bulbo se han definido, como ya hemos mencionado anteriormente, teniendo en cuenta las propias del buque de referencia, obteniendo los resultados siguientes:

- Altura del punto de máxima protuberancia: 6,63m, lo que supone un valor adimensionalizado (H_x/T) de 1,105.
- Abscisa del punto de protuberancia máxima: 7,67m, correspondiente a un cociente $X_x/L_{pp} = 0,048$.
- Área del bulbo en la perpendicular de proa. El resultado ha sido $14,8 \text{ m}^2$, lo que supone aproximadamente un 10% del área sumergida de la cuaderna maestra. El método descrito en 'Proyecto del buque mercante' proporciona un valor similar.

3.2.2. Forma de las secciones

A medida que nos alejamos de la cuaderna maestra las cuadernas pasan de tener forma en "U" con fondo plano y horizontal a tener forma en "V". Utilizar esta configuración de cuadernas a proa presenta las siguientes ventajas:

- Facilita el alisamiento de la superficie del casco en la zona del bulbo (recordemos que nuestro bulbo tiene forma de peonza).
- Menor superficie mojada frente a las cuadernas con forma de U, suponiendo menor resistencia viscosa y menor peso de acero.
- Mayor manga en la flotación, lo que implica un mayor momento de inercia de la flotación y elevar el centro de carena y, como consecuencia, un mayor KM.
- Mejora el comportamiento en el mar, minimizando el efecto de slamming e incrementando la reserva de empuje.
- Permite disponer de mayor superficie en las cubiertas de carga.



3.2.3. Semiángulo de entrada de la flotación

Debido a la alta velocidad que nuestro buque debe alcanzar por especificaciones de nuestro proyecto, necesitamos que el semiángulo de entrada de la flotación, sea lo más bajo posible con el fin de perturbar lo menos posible la masa de agua por la cual el buque va a tener que atravesar.

El semiángulo en la flotación es de 15 grados, valor aceptable según el criterio de Pophanken, que recomienda valores en torno a los 10 grados para coeficientes prismáticos del orden del que hemos obtenido.

3.3. Formas de popa

3.3.1. Perfil

Un adecuado proyecto de las formas de popa tiene como fin las siguientes ventajas frente a una popa mal proyectada:

- Proporcionar baja resistencia al avance, minimizando la separación del flujo.
- Permitir un alto rendimiento propulsivo.
- Evitar vibraciones.
- Proporcionar adecuadas claras a la hélice.
- Minimizar el efecto de succión del propulsor.

El buque dispondrá a popa de una rampa de acceso a la cubierta principal, por ello la manga del buque es máxima en esa zona, resultando una popa de espejo. Debido a la existencia de dos líneas de ejes, dispone de un quillote para evitar interferencias entre los dos flujos. A esta separación de los flujos también contribuye el espejo, que está ligeramente sumergido cerca de crujía.

3.3.2. Forma de las secciones

En las proximidades del cuerpo de popa, las cuadernas tienen forma en “U” con cierta inclinación cerca de crujía, permitiendo una adecuada distribución de la estela sin elevar en exceso la resistencia viscosa.

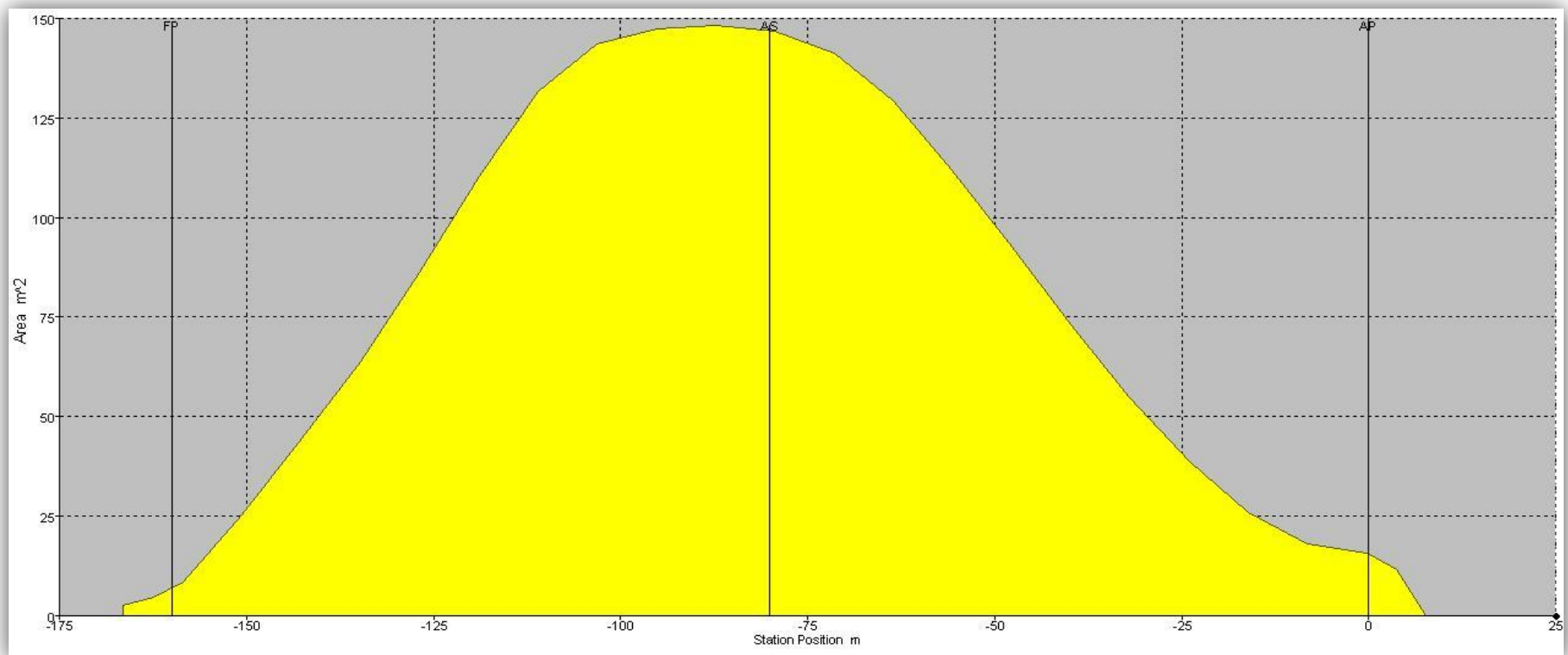


4. CURVA DE ÁREAS SECCIONALES

La curva de áreas seccionales representa la distribución longitudinal de las áreas seccionales bajo la flotación. Las principales cualidades que debe poseer la curva son las siguientes:

- Los hombros de proa y popa deben tener un trazado suave y alisado. Como referencia suele tomarse un radio de curvatura de al menos el 30% el área máxima sumergida de las cuadernas.
- Desde el hombro de popa hasta las cercanías de la hélice el trazado debe ser recto o con muy poca curvatura, con el objeto de reducir la resistencia al avance.
- Desde el hombro de proa hasta el bulbo la curva debe ser prácticamente recta y tomar una ligera concavidad para la unión con el bulbo.

En nuestro caso el cuerpo cilíndrico es casi inexistente debido a tener unas formas muy finas con un cuerpo de proa muy alargado, con el fin de perturbar lo menos posible la masa de agua, para intentar disminuir lo máximo posible la resistencia al avance.

**CURVA DE ÁREAS SECCIONALES**



5. COMPROBACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE REQUISITOS

5.1. Capacidad de carga

Por especificaciones, nuestro proyecto debe ser capaz de albergar 650ml. de tráileres y 300 coches. Esta condición de carga se cumplía para unas dimensiones iniciales que tuvimos en cuenta en el cuaderno de dimensionamiento, pero una vez hallada las nuevas dimensiones y el área utilizable de las cubiertas de garaje, hemos tenido que reordenar la carga para su cabida.

Cubierta principal			
Nº carriles	Longitud (ml.)	ml. de tráilers	Nº de coches
2	21,19	-	4
2	14,85	-	3
2	9,13	-	2
3	139,98	139,98	-
1	139,98	108,98	-
1	139,98	121,08	-
Capacidad total			
6	90,34	-	18
5	699,9	650	-

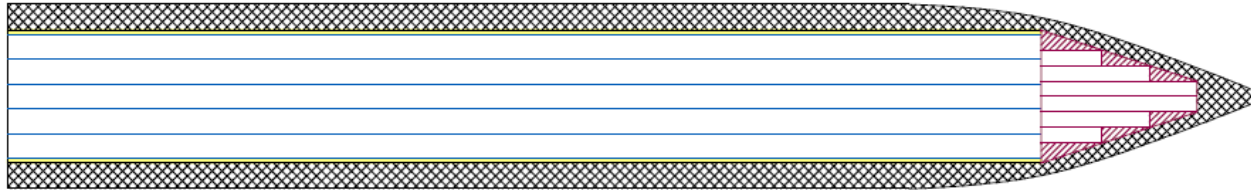
Car Deck (Cubierta principal)		
Nº carriles	Longitud (ml.)	Nº de coches
2	21,19	4
2	14,85	3
2	9,13	2
Capacidad total		
6	90,34	18

Cubierta superior		
Nº carriles	Longitud (ml.)	Nº de coches
1	155,75	34
1	124,75	26
6	161,18	35
Capacidad total		
8	1247,58	270

Aun teniendo que reordenar las cubiertas de carga, quedan los suficientes metros lineales para albergar en su interior las dos rampas necesarias para la carga y descarga tanto de la cubierta superior como la del car deck de la cubierta principal. En el esquema adjunto se puede apreciar la distribución.



Cubierta principal



Car deck (cubierta principal)



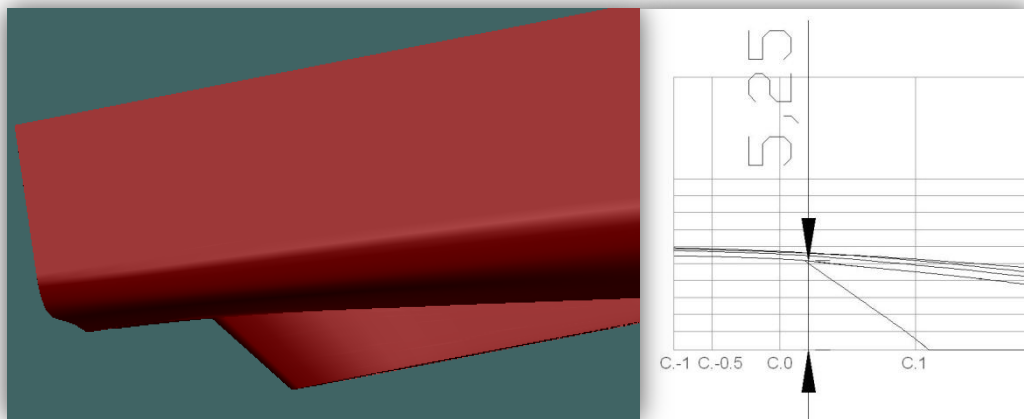
Cubierta superior





5.2. Posición de la hélice

La siguiente figura muestra la zona de la hélice, donde se puede apreciar que queda un hueco suficiente de 5,25m. Suponiendo una hélice de diámetro igual a 4.4m, puede observarse que se dispone de claras suficientes.



5.3. Espacio para el servomotor

Se ha comprobado que se dispone de suficiente espacio entre la bovedilla y la cubierta principal para alojar los servomotores, siendo la altura libre, superior a 3m.

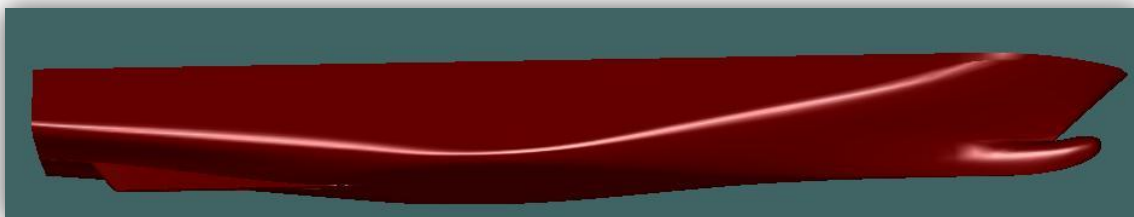
5.4. Espacio para la cámara de máquinas

Debido a que nuestro buque, no va a contar con bodega baja, las formas obtenidas permiten garantizar espacio suficiente para la cámara de máquinas, los locales de máquinas auxiliares y el local de separadoras.

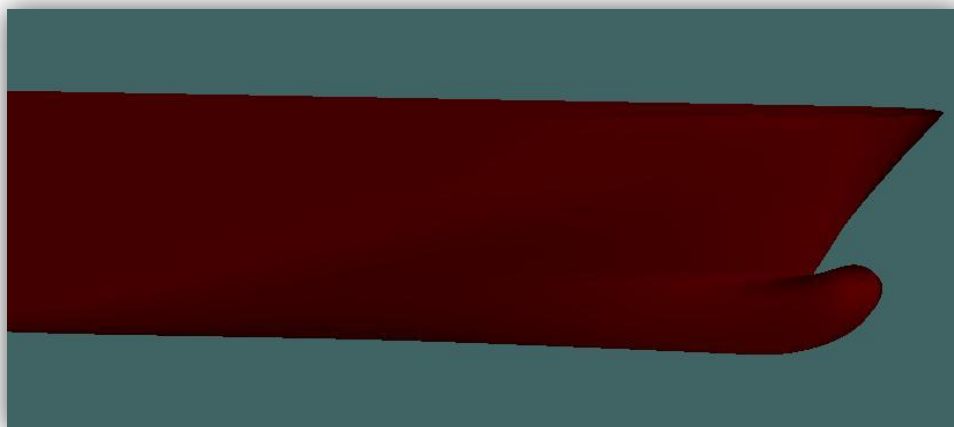


6. IMÁGENES DEL CASCO OBTENIDO

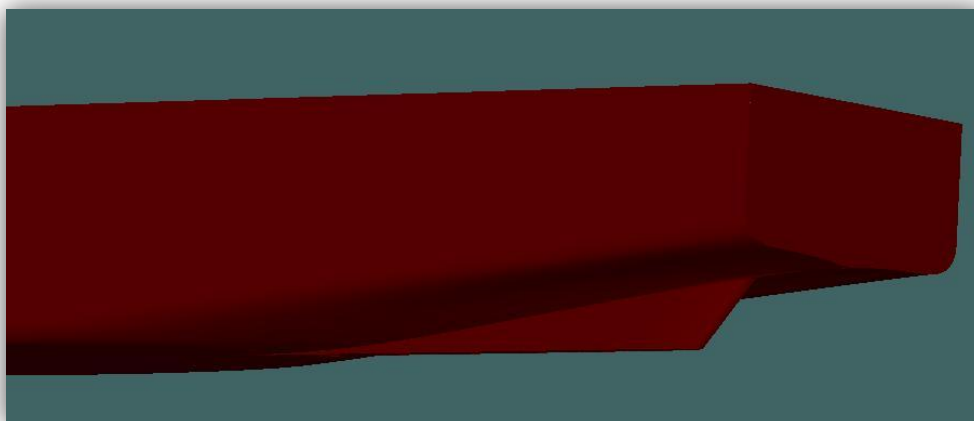
Perfil del buque



Proa del buque



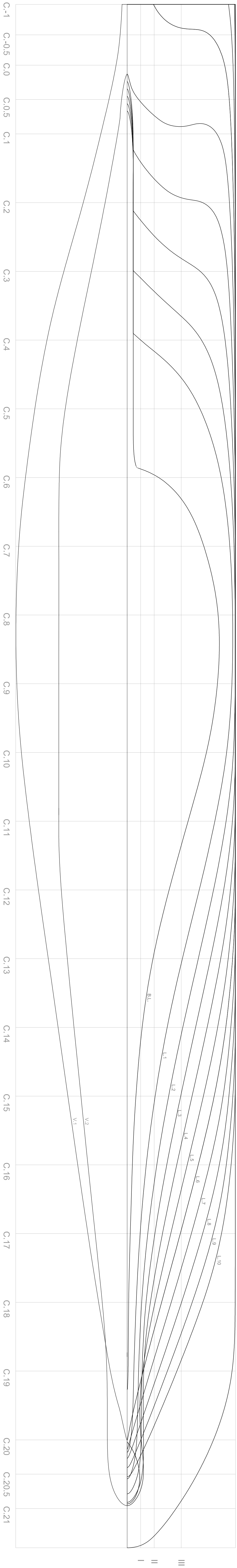
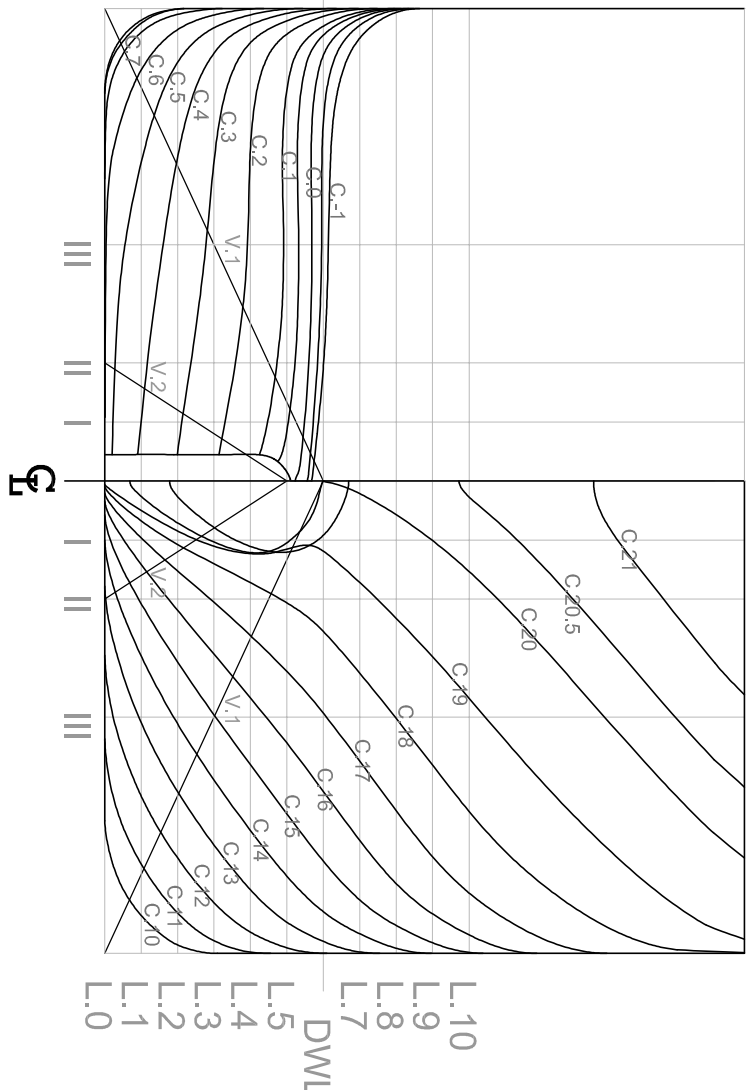
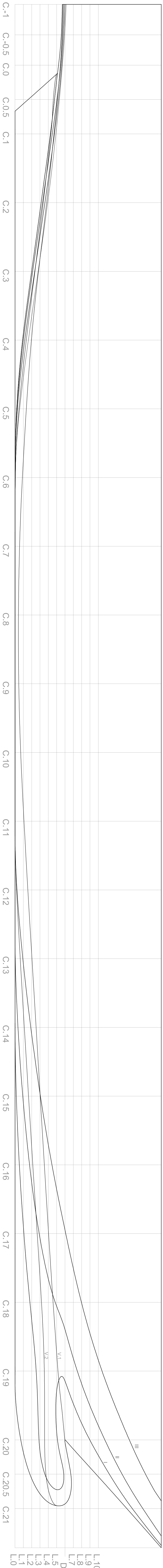
Popa del buque



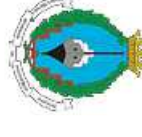


ANEXO 1.

“PLANO DE FORMAS”



CARACTERÍSTICAS	
ESLORA TOTAL APROX.	174 m.
ESLORA ENTRE PERPENDICULARES	160 m.
MANGA	25 m.
PUNTAL A LA CTA PRINCIPAL	9 m.
PUNTAL A LA CTA SUPERIOR	15,1 m.
CALADO DE PROYECTO	6 m.

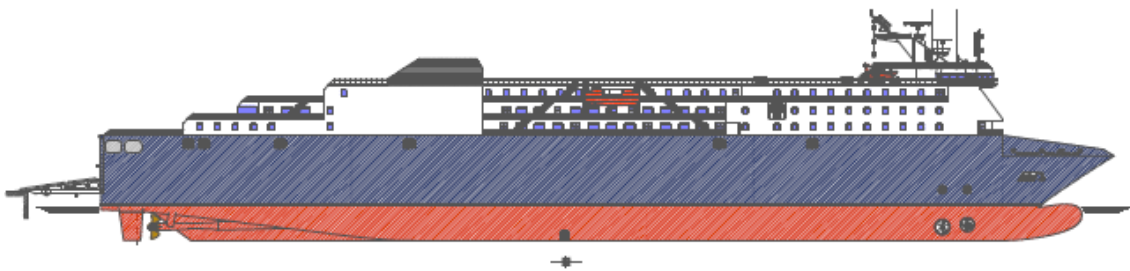
	
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS NAVALES	
PROYECTO FIN DE CARRERA	
TÍTULO DE GRADO	PROYECTO 034
ROPAX 4000 TPM	
INFORMACIÓN	TRABAJO
PLANO DE FORMAS	ESCALA
DIN-A1	1/200
	TRABAJO
	1/1
TRABAJO	ALUMNO
JOSÉ MARÍA RIOJA RODRÍGUEZ	FRANCISCO SASTRE GUASCH



Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales

Proyecto Fin de Carrera nº034

ROPAX 4000 TPM



Cuaderno 4

Disposición General

Tutor:

José María Riola Rodríguez

Alumno:

Francisco Sastre Guasch



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	4
2. ESTRUCTURA DEL CASCO	5
2.1. Claras entre cuadernas, bulárcamas y puntales	5
2.2. Doble fondo.....	5
2.3. Compartimentado	6
2.3.1. Mamparos transversales estancos.....	6
2.3.2. Cubierta de compartimentado.....	7
3. TANQUES.....	8
3.1. Tanques de lastre	8
3.2. Tanques antiescora	8
3.3. Tanques de combustible	8
3.3.1. Tanques de HFO	8
3.3.2. Tanques de MDF.....	9
3.3.3. Tanques de reboses de combustible.....	9
3.4. Tanques de aceite	9
3.5. Tanques de agua dulce.....	9
4. CUBIERTAS DE CARGA	10
4.1. Disposición de las cubiertas de carga.....	10
4.1.1. Cubierta principal	10
4.1.2. Cubierta superior	11
4.2. Acceso a las cubiertas de carga.....	11
4.2.1. Acceso a las cubiertas de carga desde el exterior.....	11
4.2.2. Rampas de comunicación entre cubiertas	11
4.3. Ventilación de las cubiertas de carga.....	11
5. CÁMARA DE MÁQUINAS	13
5.1. Espacios de máquinas	13
5.2. Ventilación de Cámara de Máquinas	14
6. HABILITACIÓN.....	15



6.1. 1ª Cubierta pasaje	15
6.2. 2ª Cubierta pasaje	16
6.3. 1ª Cubierta tripulación	17
6.4. 2ª Cubierta tripulación	18
6.5. Aire acondicionado en los espacios de habitación.....	19
7. EQUIPOS DE SALVAMENTO Y RESCATE	20
7.1. Seguridad Contra incendios	20
7.2. Dispositivos de salvamento	21
7.3. Evacuación.....	21
8. ANÁLISIS DE FLUJOS	23
8.1. Flujos de evacuación	23
8.2. Flujo de tripulación.....	24
8.3. Flujo de pasaje.....	24
8.4. Flujo de víveres.....	24
8.5. Flujo de deshechos y basuras.....	25
8.6. Tomas de combustible, agua y aceite	25
ANEXO 1.	26



1. INTRODUCCIÓN

En este cuaderno se definen los distintos espacios que conforman la disposición general del buque proyecto.

Para ello se tendrá en cuenta por una parte, el desglose de la habilitación llevado a cabo en el cuaderno de dimensionamiento de las diferentes cubiertas del buque, y por otra parte, las formas obtenidas en el cuaderno nº 3, las cuales nos marcaran los límites de las cubiertas delimitadas por el casco del buque proyecto.

En todo momento deberemos cumplir con los reglamentos indicados en las especificaciones del proyecto. Los cuales son, por un lado el reglamento de SOLAS y por otro lado, la normativa impuesta por la Sociedad de Clasificación, Bureau Veritas.



2. ESTRUCTURA DEL CASCO

2.1. Claras entre cuadernas, bulárcamas y puntales

Clara de cuadernas: Nuestra sociedad de clasificación, Bureau Veritas, exige unos valores mínimos de escantillonado, pero el valor definitivo de la clara de cuadernas debe ser elegido teniendo en cuenta lo siguiente:

- **Dimensiones de los camarotes.** Con el objeto de facilitar la construcción de la habitación es conveniente que las dimensiones de los camarotes sean múltiplos de la clara de cuadernas. Esto permite modular la construcción y facilita por otra parte, la situación de las ventanas en los camarotes.
- **Longitud de averías.** El SOLAS define una longitud de averías de $3\%L_{pp} + 3m$ que en nuestro caso toma un valor de 7,8m.
- **Situación de los mamparos contra-incendios.**

Por todo lo dicho anteriormente, se ha optado por un espaciado entre cuadernas de 800mm a lo largo de toda la eslora.

Clara de bulárcamas: los buques ropax necesitan disponer de cubiertas de carga diáfnas, para facilitar las maniobras de la carga rodada, por ello precisan de un reforzado transversal más severo de lo normal. Los esfuerzos que existen son transmitidos a las bulárcamas de los costados. Se coloca una bulárcama por cada cuatro cuadernas. Por debajo del doble fondo y a la altura de cada bulárcama, se coloca una varenga.

Clara de puntales: Queda definida por dos claras de bulárcamas.

2.2. Doble fondo

Para el doble fondo de un buque de pasaje se establece en el reglamento de SOLAS, en su Cap. II, Pt. B, Regla 10, la normativa que debe cumplir. Dichos requerimientos son:

- En la medida de lo posible el doble fondo debe ir desde el pique de proa al mamparo del rasel de popa.
- La altura del doble fondo debe ser tal que proteja los fondos hasta la curva del pantoque. Imponiendo una altura de 1,950m.

Cumplimos con los requerimientos impuestos por SOLAS, debido a tener un doble fondo de 2m de altura, y por otra parte:

- Se facilita la inspección de los espacios situados en el doble fondo.
- Disponemos de suficiente espacio para situar algunos de los tanques de lastre en el doble fondo, lo que facilita su llenado.



2.3. Compartimentado

2.3.1. Mamparos transversales estancos

Se han situado teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Deben coincidir en lo posible con las bulárcamas para economizar material.
- Su situación debe permitir cumplir favorablemente el reglamento relativo al compartimentado incluido en el Capítulo II.1 del SOLAS.
- El mamparo del pique de proa debe estar situado, tal y como queda definido en la regla 12 del capítulo II-1 del SOLAS, entre:

- La menor de las siguientes magnitudes:

El 5% de la eslora entre perpendiculares.
Una magnitud de 10m.

- El mayor de los siguientes valores:

5% de Lpp más 3m.
8% de Lpp.

Siendo los valores anteriores medidos desde una distancia a proa de la perpendicular de proa que es la menor de:

- 3m.
- 1,5% de Lpp.
- La mitad de la prolongación del bulbo de proa, que es 3,81m.

Teniendo en cuenta todo lo dicho anteriormente el mamparo del pique de proa debe estar situado entre 5,6 y 10,4m de la perpendicular de proa. Decidimos tomar un valor de 6,4m, el cual permite que coincida con una bulárcama.

Por otra parte, hay que tener en cuenta que el buque debe estar dividido por zonas principales contra incendios. Dichas zonas deben estar separadas por mamparos contra incendios del Tipo A y los mamparos no deben estar separados más de 48m entre ellos (Regla 24 del Capítulo II-2 del SOLAS). A fin de facilitar la construcción del buque y a la vez optimizar el uso de material, los mamparos CI serán prolongaciones de otros mamparos transversales. La subdivisión del buque en zonas verticales obliga a distinguir claramente las funciones que desempeñarán cada una de las zonas en que queda dividida la habilitación.



Situación de los mamparos transversales estancos;

Situación mamparos transversales estancos			
Nº cuaderna	Nº bulárcama	Dist. Desde P.Popa (m)	Tipo
8	2	6,40	Rasel de popa
24	6	19,20	
36	9	28,80	
48	12	38,40	C.I.
68	17	54,40	
96	24	76,80	
108	27	86,40	C.I.
124	31	99,20	
140	35	112,00	
156	39	124,80	C.I.
172	43	137,60	
192	48	153,60	
			Pique de proa y C.I.

2.3.2. Cubierta de compartimentado

A dicha cubierta llegan los mamparos transversales estancos y por tanto, coincide con la cubierta de francobordo de acuerdo con el Convenio de Líneas de Carga. Para nuestro buque proyecto será la cubierta principal de carga, la cual se sitúa a 9m. sobre la línea base.



3. TANQUES

3.1. Tanques de lastre

Los tanques de lastre se utilizarán cuando el buque está parcialmente cargado a fin de proporcionar un calado que asegure la estabilidad en todo momento, a parte de una aceptable distribución de pesos para la resistencia longitudinal y una adecuada inmersión de la hélice.

Para obtener la capacidad necesaria para nuestro buque proyecto, se puede obtener mediante una regresión basada en una base de datos de buques semejantes, o por otro camino, suponiendo la necesidad de asegurar un desplazamiento adecuado en las condiciones de carga más desfavorables, la cual es, llegando a puerto sin carga y con un 10% de consumos.

Se ha optado por colocar los tanques de lastre bajo la cubierta principal y en espacios que fueran a quedar vacíos. Los tanques situados en el doble fondo contribuyen a compensar desplazamientos del centro de gravedad cuando se reduce la carga o los consumibles. Los situados en los costados permiten reducir escoras debidas a la distribución de la carga. Con el objeto de reducir el fenómeno de superficies libres, se han dividido todos los tanques, mediante un mamparo en cruz.

La capacidad total de lastre de la que dispone el buque es 2400m^3 .

3.2. Tanques antiescora

Dispondremos de dos tanques antiescora uno a cada banda de modo que podamos proporcionar la suficiente estabilidad y se pueda corregir escoras excesivas durante las operaciones de carga y descarga. Cada tanque está dimensionado para contener el volumen total de agua (250 m^3) de modo que pueda desplazarse todo el volumen a una banda. Estos tanques están comunicados mediante tuberías mientras tienen lugar las operaciones de carga y descarga, interrumpiéndose dicha comunicación durante la navegación.

3.3. Tanques de combustible

Para los buques de construcción posterior a Agosto de 2010, con una capacidad de combustible mayor o igual a 600m^3 , MARPOL establece en el Anexo I, Capítulo 3, Regla 12A, que deben situar sus tanques de combustible a una determinada distancia del costado y del fondo. Esta regla nos obliga a situar todos nuestros tanques de combustible a una altura superior a 0,76m sobre la línea base. Debido a ello todos los tanques de combustible van a estar por encima de la cubierta de doble fondo, excepto los tanques de reboses de combustible, los cuales se situarán en el doble fondo, pero a una altura de 0.80m sobre la línea de base.

3.3.1. Tanques de HFO

En cuanto a la localización de los tanques de HFO, se ha intentado situarlos lo más cerca posible de los espacios de máquinas (para reducir la longitud de las tuberías) y del centro de carena (para minimizar el efecto que el consumo de combustible tenga sobre la estabilidad y para simplificar las operaciones de lastre).



Existen seis tanques almacén de HFO, situados en la primera cubierta de CCMM y entre las cuadernas 108 y 129. Los tanques de sedimentación de HFO están situados debajo del local de separadoras, sobre la segunda cubierta de CCMM. Los tanques de servicio diario, se encuentran situados en el propio local de las separadoras, sobre la primera cubierta de CCMM.

La capacidad útil total de HFO es 1174m³, de los cuales 145m³ corresponden a los tanques de servicio diario, 220m³ a los tanques de sedimentación y el resto repartido en los seis tanques almacén.

3.3.2. Tanques de MDF

Los tanques almacén de MDF se sitúan, en la primera cubierta de CCMM, entre las cuadernas 130 y 138, y tiene una capacidad de 250m³, los tanques de servicio diario de MDF se sitúan en el local de las separadoras, y cuentan con una capacidad de 30m³. Los tanques de sedimentación están situados debajo del local de separadoras, y cada uno cuenta con una capacidad de 30m³.

3.3.3. Tanques de reboses de combustible

Los tanques de reboses de HFO y MDF se encuentran situados en el doble fondo bajo el local de los MMPP.

3.4. Tanques de aceite

Al igual que los tanques de reboses de combustible, los tanques de aceite se encuentran situados en el doble fondo, bajo el local de los MMPP. Tenemos:

- Cuatro tanques de servicio diario, situados bajo los MMPP, que cuentan con una capacidad unitaria de 12 m³.
- Un tanque almacén de aceite. Está dimensionado para hacer frente a una sustitución del volumen total de los tanques de servicio (50 m³).
- Un tanque para aceite sucio, con una capacidad total de 50m³.

3.5. Tanques de agua dulce

Tendremos dos tanques sobre la primera cubierta de CCMM, entre las cuadernas 48 y 59, con una capacidad de 105m³ cada uno. En cumplimiento de la normativa vigente, no están rodeados de tanques de otros fluidos para evitar una posible contaminación.



4. CUBIERTAS DE CARGA

4.1. Disposición de las cubiertas de carga

4.1.1. Cubierta principal.

Tambuchos laterales: Las dos cubiertas de carga cuentan con tambuchos laterales de 3,5m de ancho y que se extiende durante la mayor parte de la eslora del barco. Este tambucho permite alojar escapes, conductos de ventilación, escaleras y ascensores de comunicación entre cubiertas. Además de estos servicios el tambucho dispone de:

- Un local para el control de carga. Contará con un calculador de carga para comprobar que la disposición de los vehículos permite asegurar las condiciones recomendadas de estabilidad y resistencia longitudinal.
- Local de basuras. Situado en la zona de popa del tambucho lateral de babor, delante del montacargas .
- Garaje sobre la cubierta principal. Situado a una altura de 9m sobre la línea de base, y con una altura de 6,1m, el garaje es capaz de alojar 650ml de tráileres y hasta un total de 26 coches, en dos alturas mediante car deck.

El garaje dispone de 5 carriles de 3.36 m de ancho que se extienden hasta 140m, desde los portalones de popa en un espacio libre de obstáculos. El carril más a babor es más corto que el resto debido al espacio ocupado por la rampa por la cual los coches pueden acceder a la cubierta superior. La rampa que da acceso al car deck no obstaculiza ningún carril debido a ser elevable.

Accesibilidad desde espacios situados bajo la cubierta principal mediante escaleras, dicha cubierta queda comunicada con:

- El local del servo.
- El local de grupos electrógenos y la sala de control de CCMM.
- El local de compresores de aire comprimido y local taller mecánico.

Mediante escotillas de comunicación. Sobre esta cubierta existirán unas escotillas estancas, habilitadas para facilitar el movimiento de grandes pesos evitando la necesidad de realizar cesarias en la cubierta principal por sustitución de cualquier elemento de cámara de máquinas, que permitirán comunicarla con:

- El local del servo. Habrá una escotilla central.
- El local de los motores auxiliares. Habrá dos escotillas, una a cada costado.
- El local de los motores principales. Habrá dos escotillas, una a cada costado.



4.1.2. Cubierta superior

Garaje sobre la cubierta principal, se caracteriza por ser exclusiva para coches, a parte de una altura de 3,65m. Zonas de amarre y fondeo. Contaremos con dos espacios, una a proa y otra a popa:

- La zona de popa, dividida en dos partes una a estribor y otra a babor. Dichas zonas se encuentran dentro de los tambuchos laterales.
- La zona de Proa, se puede acceder mediante accesos en el propio garaje de dicha cubierta.

4.2. Acceso a las cubiertas de carga.

4.2.1. Acceso a las cubiertas de carga desde el exterior

La carga y descarga de camiones y automóviles se realiza desde tierra directamente a las cubiertas Principal y Superior a través de dos puertas/rampa situadas a popa. Cuando cada puerta está totalmente cerrada, gracias a un sistema de cierres estancos, se comporta como una puerta estanca hacia el interior del buque.

4.2.2. Rampas de comunicación entre cubiertas

Debido a que el acceso a la cubierta superior es mediante una rampa fija que está situada totalmente a popa, los coches que tienen que subir a la cubierta superior no se cruzan con los tráileres que entran a la cubierta principal, de esta forma el proceso de carga es más ordenado. Por tanto no habrá accesos interiores para pasar de la cubierta inferior a la superior.

Dentro de la cubierta principal habrá una pequeña rampa para el acceso al car deck en la zona de proa. Dicha rampa será móvil al igual que el car deck, habilitando esa zona para ser utilizada para albergar más metros lineales de tráileres cuando sea necesario.

4.3. Ventilación de las cubiertas de carga

Los conductos de ventilación provenientes o que desemboquen en un espacio deben pertenecer sólo a una zona principal contraincendios. En cumplimiento del Apartado 9.2.2 del capítulo II-2 del SOLAS.

Contaremos con un sistema de ventilación forzada, el cual permite 10 renovaciones por hora durante el trayecto por mar y 30 renovaciones durante las operaciones de carga y descarga. El aire se introduce por unas rejillas situadas en la zona de proa, sobre la cubierta superior de carga, siendo impulsado mediante ventiladores de funcionamiento reversible; y sale por rejillas situadas en la zona de amarre de popa, proveniente de la ventilación de la cubierta superior, y por rejillas situadas a popa y en los costados, proveniente de la ventilación de la Cubierta Principal.



El sistema de ventilación de las cubiertas de carga es independiente de los demás sistemas de ventilación para evitar riesgos de comunicación de gases de escape o humos entre diferentes zonas o de que se impulse el aire destinado a otros espacios, cumpliéndose así con las directrices marcadas por SOLAS.

Por otra parte, es obligatorio que dicho sistema esté en funcionamiento siempre que haya vehículos en los garajes, y que pueda ser accionado desde una posición exterior a los espacios de carga.



5. CÁMARA DE MÁQUINAS

Para obtener el diseño óptimo de una Cámara de Máquinas se debe resolver el conflicto que hay entre dar cabida a todos los equipos que debe contener, pero teniendo la precaución de no dar lugar a un espacio tan grande que suponga un problema en el caso de tener que hacer frente a una inundación.

5.1. Espacios de máquinas

En un primer lugar la cámara de máquinas se dividía en dos zonas principales, una destinada a los motores principales, y otra para los motores auxiliares. Adicionalmente, nos vemos obligados a habilitar una serie de espacios para incluir las separadoras debido a que por normativa en un buque de pasaje no pueden compartir espacio motores y tanques o sistemas de tratamiento de combustible.

Los compresores de aire acondicionado, las hélices de maniobra y otros equipos auxiliares se distribuyen de la siguiente manera:

- **Local de grupos electrógenos.** La sala de los MMAA está situada entre las cuadernas 48 y 68, y comparte espacio con la sala de control de la cámara de máquinas, debido a que es conveniente que todos los sistemas relacionados con la generación eléctrica compartan compartimento estanco a fin de reducir la probabilidad de problemas derivados de inundaciones. Un tronco de escaleras permite acceder a la cubierta principal.
- **Local de motores principales.** Situada entre las cuadernas 68 y 96, abarca desde el doble fondo hasta la cubierta principal. Cuenta con una plataforma a 5m de la línea base desde la cual, y a través de unas puertas estancas de corredera y de accionamiento hidráulico, puede accederse a los locales de grupos electrógenos y de separadoras. Se comunica mediante escaleras con la cubierta del doble fondo.
- **Local de separadoras.** Está situado entre las cuadernas 96 y 108. Se comunica mediante escaleras con la cubierta superior. Alberga los tanques de servicio diario tanto de HFO (Heavy Fuel Oil) como de MDF (Marine Diesel Fuel).
- **Locales de C.I., y taller mecánico.** Situados a proa en la segunda cubierta. Se comunica mediante escaleras con la cubierta superior.
- **Taller eléctrico.** Este local está localizado entre las cuadernas 36 y 48. Está comunicado con el local de grupos electrógenos, y con la cubierta superior, mediante un hueco de escaleras y el ascensor que comunica la cámara de máquinas con el resto de cubiertas del buque.
- **Local de hélices de proa.** Situado entre el pique de proa y la cuaderna 172, este local alberga las hélices de maniobra.



- **Local del servomotor.** Situado entre las cuadernas -7 y 8, este local tiene una altura libre de 2,74m, suficiente para albergar los motores de accionamiento de los timones, así como para el fácil acceso y maniobrabilidad de los encargados de su mantenimiento y revisión. Es accesible desde la cubierta superior mediante dos huecos de escaleras situadas en la zona de los tambuchos laterales, a parte del acceso desde la segunda cubierta de cámara de máquinas. Además existen unas escotillas que lo comunican con la cubierta principal para facilitar el movimiento de equipos.

Se han situado los locales de MMPP y MMAA en la misma zona contraincendios para que puedan compartir la misma salida de humos. Los colectores de escape se dividen 2 a estribor y 2 a babor tanto de los MMPP como de los MMAA, ascendiendo por los tambuchos laterales hasta el exterior del barco.

5.2. Ventilación de Cámara de Máquinas

Para que el sistema de ventilación de cámara de máquinas funcione correctamente se tiene que asegurar que, en condiciones meteorológicas adversas, y con los motores y las calderas trabajando a plena potencia, se suministre suficiente aire para mantener el confort y la seguridad en los espacios de máquinas, y por otra parte, que las máquinas reciban suficiente aire para su correcto funcionamiento.

El local de los MMPP toma aire a través de rejillas situadas en las cubiertas superiores de tripulación y conectadas directamente con los conductos de ventilación del guarda calor. El resto de locales cuenta con conductos de ventilación alojados en el hueco de los tambuchos laterales y que desembocan en rejillas situadas en el costado.



6. HABILITACIÓN

Atendiendo a las especificaciones impuestas, el buque proyecto debe ser capaz de alojar a 800 pasajeros y 40 tripulantes, quedando el pasaje distribuido de la siguiente forma:

- 160 pasajeros en camarotes cuádruples (son necesarios 40 camarotes cuádruples).
- 640 pasajeros en salones con butacas.

La habitación del buque proyecto se compone de cuatro cubiertas, dedicándose las dos primeras al pasaje, la tercera a la tripulación y la cuarta para el puente de mando.

6.1. 1ª Cubierta pasaje

La primera cubierta de pasaje, queda dividida en cuatro partes debido a la división entre zonas Cl.

Zona de proa:

- Tronco de escaleras a cada banda en proa exclusivo para tripulación, que comunica todas las cubiertas de habitación y el garaje de la cubierta superior.
- 24 camarotes cuádruples de 12.8m² de superficie, y equipados con aseo, cuatro camas, mesilla, armario ropero, papelería, reloj, dos perchas y tomas de corriente para pequeños aparatos eléctricos.
- 1 enfermería.
- 2 pañoles.
- Local control C.I.

Zona central de proa:

- Recepción. El pasaje embarca por esta zona, a través de dos puertas, una a cada costado. Desde ellas se accede a una estancia en la cual se encuentra la recepción, un tronco de escaleras a cada banda para pasaje, que comunica todas las cubiertas de pasaje y garajes y por último, dos ascensor para pasaje.
- 16 camarotes cuádruples de 12.8m² de superficie, y equipados con aseo, cuatro camas, mesilla, armario ropero, papelería, reloj, dos perchas y tomas de corriente para pequeños aparatos eléctricos.
- Tiendas y accesos a las zonas exteriores en ambos costados.

Zona central de popa:

- Comedor autoservicio.
- Aseos múltiples de señoras y caballeros para ocho personas cada uno.
- Tronco de escaleras a cada banda para pasaje, que comunica todas las cubiertas de pasaje y garajes



Zona de popa:

- Cocina totalmente equipada para elaborar comida para 640 comensales.
- Almacén.
- 4 baños completos para cocineros, dotados con vestuario, 2 en cada costado.
- 3 gambuzas con reguladores de temperatura independientes, para la conserva de los diferentes alimentos.
- Tronco de escaleras exclusivo para personal del buque, el cual comunica todas las cubiertas del buque, desde la cámara de máquinas hasta la tercera cubierta de habitación.
- Montacargas, para poder subir todos los pertrechos necesarios desde la cubierta principal hasta las gambuzas y almacén. Por otra parte, dicho montacargas al igual que el tronco de escaleras comunica todas las cubiertas del buque, desde la cámara de máquinas hasta la tercera cubierta de habitación.

6.2. 2ª Cubierta pasaje

Dicha cubierta aloja, todos los salones de pasaje divididos en salones para primera y segunda clase.

Zona de proa:

- Salón de primera clase con butacas, para alojar a un total de 148 pasajeros. Dicho salón está dotado de aseos individuales, y portabultos.
- Tronco de escaleras a cada banda en proa exclusivo para tripulación, que comunica todas las cubiertas de habitación y el garaje de la cubierta superior.

Zona central de proa:

- Salón comedor, para pasaje de primera clase y pasaje alojado en camarotes.
- Tronco de escaleras a cada banda en proa exclusivo para tripulación, que comunica todas las cubiertas de habitación y el garaje de la cubierta superior.
- 2 tubos de evacuación, uno a cada costado, que incorporan, cada uno, una balsa salvavidas autoadrizable con capacidad para 150 personas.
- Distribuidor situado encima de la recepción, que divide los espacios de primera clase con los de segunda, dotado de tiendas, un tronco de escaleras a cada banda para pasaje, que comunica todas las cubiertas de pasaje y garajes y por último, dos ascensores para pasaje.
- Cocina para abastecer el salón comedor, dotado de gambuza, baño completo con vestuario y un pequeño montacargas que comunica dicho espacio con la cocina de la cubierta de tripulación.
- Salón de segunda clase con butacas, para alojar a un total de 120 pasajeros. Dicho salón está dotado de aseos individuales, y portabultos.

**Zona central de popa:**

- Salones de segunda clase con butacas para alojar a un total de 380 pasajeros. Dichos salones están dotados de aseos individuales, y portabultos.
- Esta zona tiene acceso directo al área de embarque a los botes salvavidas mediante dos accesos a cada costado.
- Tronco de escaleras a cada banda para pasaje, que comunica todas las cubiertas de pasaje y garajes
- 2 paños.
- Local control C.I.

Zona de popa:

- Cafetería para segunda clase, dotado con dos aseos y accesos a la terraza de popa.
- Tronco de escaleras exclusivo para personal del buque, el cual comunica todas las cubiertas del buque, desde la cámara de máquinas hasta la tercera cubierta de habitación.
- Montacargas, al igual que el tronco de escaleras comunica todas las cubiertas del buque, desde la cámara de máquinas hasta la tercera cubierta de habitación.

6.3. 1ª Cubierta tripulación

La primera cubierta de tripulación, al igual que las cubiertas de pasaje la hemos dividido en las mismas zonas contraincendios.

Zona de Proa:

- 3 camarotes de 30m², situados en la parte de proa debajo del puente, que ocuparán el jefe de máquinas, el capitán y armador. Estos camarotes se componen de una salita equipada con sofá, escritorio, dos sillas y armarios y estanterías, y de un amplio dormitorio que cuenta con cama doble.
- 9 camarotes para oficiales y 1 para el médico, de 12,8m² y situados a los costados, lo que permite que cuenten con ventanas. Están equipados con aseo, cama, mesilla, mesa-escritorio con cajones, silla de escritorio, estantería, armario ropero, papelera, reloj y tomas de corriente para pequeños aparatos eléctricos.
- Tronco de escaleras a cada banda en proa exclusivo para tripulación, que comunica todas las cubiertas de habitación y el garaje de la cubierta superior.
- 2 paños.
- Sala reuniones.
- 2 oficios.
- Lavandería.
- Local C.I.



Zona central de proa:

- Comedor oficiales.
- Salón de oficiales.
- Comedor autoservicio tripulación.
- Salón tripulación.
- Aseos.
- Cocina dotada de Gambuza y un montacargas que lo comunica con la cocina de la 2ª planta de pasaje.
- 3 locales de AACC. , las cuales, albergan las maquinas de AACC necesarias para abastecer dicha zona contra incendios vertical.
- 11 camarotes para tripulación, de 12,8m2 y situados a los costados, lo que permite que cuenten con ventana exterior. Están equipados con aseo, cama, mesilla, mesa-escritorio con cajones, silla de escritorio, estantería, armario ropero, papelera, reloj y tomas de corriente para pequeños aparatos eléctricos.

Zona central de popa:

- 16 camarotes para tripulación, de 12,8m2 y situados a los costados, lo que permite que cuenten con ventana exterior. Están equipados con aseo, cama, mesilla, mesa-escritorio con cajones, silla de escritorio, estantería, armario ropero, papelera, reloj y tomas de corriente para pequeños aparatos eléctricos.
- 2 locales de AACC. , las cuales, albergan las maquinas de AACC necesarias para abastecer dicha zona contra incendios vertical.
- Local del generador de emergencia.
- Local de baterías.

Zona de popa:

- local de AACC, la cual, alberga las maquinas de AACC necesarias para abastecer dicha zona contra incendios vertical.
- Montacargas y tronco de escaleras, los cuales, comunican todas las cubiertas del buque. De esta forma se puede acceder a la cámara de máquinas o cualquier cubierta con gran rapidez.

6.4. 2ª Cubierta tripulación

La cuarta cubierta de habilitación se ha dispuesto únicamente para tener el puente de gobierno lo más arriba posible, de esta forma aumentaremos la visibilidad que se ve perjudicada debido a la proa lanzada de nuestro buque. El cual dispondrá de lo siguiente:

- Una consola que alojará los equipos fundamentales de navegación y gobierno, controles y mando del motor propulsor, telégrafo, indicadores de nivel de tanques



de lastre, pulsadores de órdenes y alarmas, comunicaciones con cámara de máquinas, etc.

- Cajones y estantes para prismáticos, casillero para código internacional, linterna, etc.
- Una zona de transmisiones, equipada con todos los elementos de radiocomunicaciones.
- Una zona de derrota, equipada con mesa-planero con cajones para cartas náuticas, cronómetro, estantes, librerías, sillones, papelera, etc.
- Un aseo común, con lavabo, taza y espejo.
- Dos oficinas.

El puente es accesible desde el interior, por un hueco de escaleras situado en la zona de camarotes de oficiales. Por otra parte en dicha cubierta se dispondrá de la zona de aterrizaje de helicópteros y los dispositivos de salvamento como son;

- 4 Balsas salvavidas, dos a cada banda de 100 y 150 pax.
- Botes de rescate, uno a cada banda.

Por otra parte en dicha zona también estará alojado el local de AACC. , el cual, alberga las maquinas de AACC necesarias para abastecer la zona de proa contra incendios vertical.

6.5. Aire acondicionado en los espacios de habitación

Como ya se ha comentado en anteriores apartados, cada zona principal contra incendios debe contar con su propio suministro de aire acondicionado. Por dicha razón se ha dispuesto de locales exclusivos para cada zona vertical contraincendios, teniéndose en cuenta que el área requerida es aproximadamente el 4% del área de la zona CI correspondiente.

Para cada local se dispone de sus respectivos climatizadores y sistemas de humidificación, pudiéndose controlar las temperaturas desde cada humidificador o desde el puente de mando. El número de renovaciones por hora varía en función de la zona del buque, oscilando entre las 8 renovaciones por hora en las zonas de camarotes y 10 renovaciones en las zonas comunes.

Una red de conductos, difusores y rejillas permite obtener una correcta distribución del aire y una temperatura homogénea.

Dicho sistema permite mantener constantes las condiciones interiores, y estará diseñado para permitir escalonar las potencias en función de las cargas del buque y de las condiciones ambientales.



7. EQUIPOS DE SALVAMENTO Y RESCATE

7.1. Seguridad Contra incendios

En el Apartado 1 de la Regla 2 del Capítulo II-2 del SOLAS, se describen los objetivos de la seguridad contra incendios a bordo, los cuales son:

- Evitar que se produzcan incendios y explosiones.
- Reducir los peligros para la vida humana que puede presentar un incendio.
- Reducir el riesgo de que el incendio ocasione daños al buque, a su carga o al medio ambiente.
- Contener, controlar y eliminar el incendio y las explosiones en el compartimiento de origen.
- Facilitar a los pasajeros y a la tripulación medios de evacuación adecuados y fácilmente accesibles.

Con el objetivo final de alcanzar dicha seguridad, debe llevarse a cabo lo expuesto en el Apartado 2 de dicha regla:

- División del buque en zonas verticales principales y zonas horizontales mediante contornos que ofrezcan protección térmica y estructural.
- Separación de los espacios de alojamiento del resto del buque mediante contornos que ofrezcan protección térmica y estructural.
- Utilización restringida de materiales combustibles.
- Detección de cualquier incendio en la zona de origen. Se disponen sistemas fijos de detección de incendios y de alarma contra incendios tanto en la cámara de máquinas como en el resto de los espacios del buque.
- Contención y extinción de cualquier incendio en la zona de origen. Los sistemas que se utilizarán serán los siguientes:
 - Sistema de dióxido de carbono (CO₂), destinado a combatir incendios en los espacios de Cámara de Máquinas. Los equipos estarán situados en un local en la zona central del tambucho lateral de babor de la cubierta principal. Va a tener capacidad suficiente para liberar un volumen mínimo de gas igual al 35% del volumen total de la cámara de máquinas, incluyendo el guardacalor.
 - Además se incluye una alarma audiovisual en cámara de máquinas con objeto de alertar a las personas que hubiere allí trabajando para la evacuación de la zona, ante los posibles riesgos que la liberación de este gas pudiera ocasionar en sus organismos.
 - Sistema de rociadores automáticos. Existen en las cubiertas de carga rodada y en las de habilitación.
 - Equipos extintores portátiles de aire/espuma y extintores de espuma de 45 litros en número suficiente para poder alcanzar cualquier parte de los sistemas de



combustible y de aceite de lubricación a presión, engranajes y otras partes que presenten riesgo de incendio.

- Protección de las vías de evacuación y de acceso para la lucha contra incendios.
- Disponibilidad inmediata de los medios de extinción de incendios. El número y la localización de las bocas contra incendios será tal que por lo menos dos chorros de agua no procedentes de la misma boca, uno de ellos lanzado por una manguera de una sola pieza, puedan alcanzar cualquier parte del buque normalmente accesible a la tripulación mientras el buque navega, y cualquier espacio de carga del buque (Regla 10, Apartado 2.1.5).
- Reducción al mínimo de la posibilidad de ignición de los vapores de las cargas inflamables.

7.2. Dispositivos de salvamento

En el Capítulo III del SOLAS está recogida la normativa relativa a los dispositivos de salvamento. Donde se expone (Regla 21, Apartado 1.2) que un buque de pasaje destinado a trayectos internacionales cortos debe estar equipado con botes salvavidas parcial o totalmente cerrados cuya capacidad conjunta permita transportar al menos al 30% del número total de personas que vayan a bordo. En nuestro caso contamos con dos botes parcialmente cerrados, uno a cada banda, con una capacidad unitaria de 130 personas, satisfaciendo la capacidad requerida.

Además de los botes parcialmente cerrados, debemos contar con balsas salvavidas inflables con una capacidad total que pueda dar cabida al resto de personas a bordo (en nuestro caso, 580 personas) más el 25% del nº total de personas (210 personas). Para alcanzar esa capacidad se cuenta con cuatro balsas salvavidas con capacidad para 150 personas y dos con capacidad para 100. Dos balsas de 150 personas, van incorporadas a los tubos de evacuación MES que hay dispuestos a los costados. El resto, situadas junto a los costados y en la segunda cubierta de tripulación, cuentan con su propio sistema de puesta a flote. El buque cuenta además con un bote de rescate a cada banda que disponen de pescante integrado. Uno de ellos es de tipo rápido, tal y como exige la reglamentación, siendo capaz de desarrollar una velocidad de 20 nudos y transportar a 6 personas más una camilla.

A parte de los botes y balsas salvavidas, en aplicación de la Regla 22 el buque debe contar con 18 aros salvavidas (por la eslora de nuestro barco), 900 chalecos salvavidas + 80 chalecos para niños (1 chaleco salvavidas por persona + un 10% del número de pasajeros en chalecos salvavidas para niños o uno por niño a bordo si este es mayor + chalecos suficientes para realizar la guardia y para utilización en los puestos de supervivencia muy distantes.) y 6 trajes de inmersión (3 por cada bote salvavidas).

7.3. Evacuación

Se debe cumplir con una serie de requisitos relativos a los medios de acceso y escape de los distintos espacios del buque atendiendo a la normativa expuesta en el Capítulo II-2 del SOLAS, en su Parte D. Se dispondrán escaleras y escalas que proporcionen medios rápidos de evacuación hacia la cubierta de embarco en los botes y las balsas salvavidas desde todos los



espacios de alojamiento de los pasajeros y de la tripulación y desde los espacios que no sean espacios de máquinas en los que normalmente trabaje la tripulación.

Los espacios que están situados por debajo de la cubierta de cierre, en nuestro caso la primera cubierta de carga, y que constituyen compartimentos estancos, dispondrán de dos vías de escape que consistirán en:

- Dos juegos de escalas de acero, tan separadas entre sí como sea posible, que conduzcan a puertas situadas en la parte superior de dicho espacio y desde las que haya acceso a las correspondientes cubiertas de embarque a los botes y balsas salvavidas. Una de estas escalas, de al menos unas dimensiones de 80x800 mm, estará situada dentro de un recinto protegido, con alumbrado de emergencia y puertas contra incendios de cierre automático.
- Una escala de acero que conduzca a una puerta situada en la parte superior del espacio, desde la que haya acceso a la cubierta de embarque y, además, en la parte inferior del espacio y en un lugar bastante apartado de la mencionada escala, deberá existir una puerta de acero, maniobrable desde ambos lados y que ofrezca una vía segura de evacuación desde la parte inferior del espacio hacia la cubierta de embarque.

Las escaleras y escalas que se han dispuesto proporcionan un doble acceso desde cada uno de los compartimentos por debajo de la cubierta principal a unos espacios protegidos situados en los costados del buque.

Las escaleras deben disponerse de modo que todas aquellas que salgan de estos espacios definidos, no finalicen en la cubierta principal ni tengan acceso a ella. El fin que se persigue es asegurar que, en caso de inundación de la cubierta principal, el agua no penetra en los compartimentos estancos definidos por debajo de ella.



8. ANÁLISIS DE FLUJOS

A la hora de diseñar los diferentes espacios de habilitación del buque es imprescindible llevar a cabo un estudio de los flujos del pasaje y tripulación, basándose en el compartimentado y en la división de principales zonas verticales.

8.1. Flujos de evacuación

Para cada espacio o grupo de espacios deben existir por lo menos dos medios de evacuación rápidos y separados entre sí, sin considerar los ascensores, según la Regla 13.2 del SOLAS.

En la evacuación de los espacios bajo la cubierta principal, se debe tener especialmente en cuenta el apartado 3.2.4.1 de la Regla 13, que obliga a que uno de los dos medios de evacuación conduzca a la cubierta de embarque en los botes salvavidas (en nuestro caso, la segunda cubierta de pasaje).

- Los locales de los grupos electrógenos, taller eléctrico, planta séptica y la sala de control, dispone de un tronco de escaleras común que llega hasta todas las cubiertas de habilitación, en el costado de estribor y por medio de un ascensor en el costado de babor.
- El local de MMPP, está comunicado, mediante puertas estancas deslizantes, con los locales que se encuentran a popa y a proa.
- Los locales de separadoras, compresores de AACC, tratamiento de aguas, C.I. y sentinas, y el taller mecánico, cuentan con un tronco de escaleras común que comunica con la cubierta principal. Desde estos locales puede accederse al local de MMPP mediante puertas estancas deslizantes.
- El local de hélices de proa esta comunicado con los locales de tratamiento de aguas, C.I. y sentinas.
- El local del servo motor posee un tronco de escaleras a cada banda que se comunica con la cubierta principal. Debido a estar el local del servomotor comunicado con los locales más a proa, estos también podrán evacuar utilizando dichos accesos.

Evacuación desde los espacios de carga: Dichas zonas cuentan con troncos de escaleras situados en los tambuchos laterales a lo largo de toda la eslora y que conducen a las cubiertas de habilitación.

Evacuación desde los espacios de pasaje: Los espacios de pasaje están distribuidos entre dos cubiertas. Cada una de las zonas principales CI de proa y popa dispone de un tronco de escaleras a cada banda, que comunica todas las cubiertas de habilitación y de carga con la cubierta de embarque a los botes. Por otra parte, la zona central tiene a disposición de los pasajeros dos escaleras exteriores a cada costado para la comunicación con las cubiertas superiores.

Evacuación desde los espacios de tripulación: La evacuación a partir de los espacios de la tripulación, situados en su mayor parte a proa de la 1ª cubierta de tripulación, se lleva a cabo a través de las escaleras exteriores, mediante las cuales se accede directamente a la cubierta de botes.



Se han dispuesto de vías de evacuación desde los espacios de acomodación y tripulación a los troncos de escaleras, buscando minimizar los cambios de dirección necesarios para acceder a ellos. De esta manera, no es preciso cruzar de una banda a otra para acceder a una vía de evacuación, ni es necesario subir o bajar más de dos cubiertas para llegar a un punto de reunión (Regla 13, Apartado 7.1.2).

8.2. Flujo de tripulación

Los espacios utilizados por la tripulación están concentrados en la 1ª cubierta de tripulación para evitar interferencias con el pasaje. Desde esta cubierta, y dispuestos a lo largo de la eslora, existen tres troncos de escaleras, dos a proa y uno a popa, de uso exclusivo de la tripulación que les permite acceder a las cubiertas de habilitación, de carga, y a los espacios de máquinas. Además existe un ascensor exclusivo para tripulación y que comunica esta área con el resto de cubiertas.

8.3. Flujo de pasaje.

El pasaje puede acceder al barco mediante:

- Con coche o tráiler. Se accede con los vehículos por las puertas-rampas de popa y desde los garajes puede llegarse a las cubiertas de habilitación mediante los troncos de escaleras existentes en los tambuchos laterales.
- Mediante pasarelas de puerto, las cuales, a través de puertas estancas al agua y situadas, una a cada costado, en la 1ª cubierta de pasaje en la parte central del buque, conducen a un amplio recibidor en el cual el personal de recepción se encargará de acomodar al pasaje.

8.4. Flujo de víveres

Los víveres se introducen desde el garaje de la cubierta principal, y por medio del montacargas se llevan a las gambuzas de la primera planta de pasaje. De dichas gambuzas se reparten los víveres a las demás gambuzas del buque por los accesos exclusivos para tripulación.

También desde dicho montacargas del costado de babor situado en popa, se pueden subir los víveres necesarios directamente a la tercera cubierta y desde esta se puede abastecer la gambuza de la cocina de tripulación. Desde dicha cocina mediante un pequeño montacargas se puede acceder a la gambuza del comedor de primera clase en la segunda cubierta de habilitación.



8.5. Flujo de deshechos y basuras

En la cubierta principal, situado en el tambucho lateral de babor delante del montacargas, se encuentra el local destinado al almacenamiento de basuras. Este local cuenta con contenedores para clasificar los deshechos y está convenientemente asilado para evitar molestias debidas a los olores. Al llegar a puerto los contenedores son descargados a través de las puertas-rampas de popa.

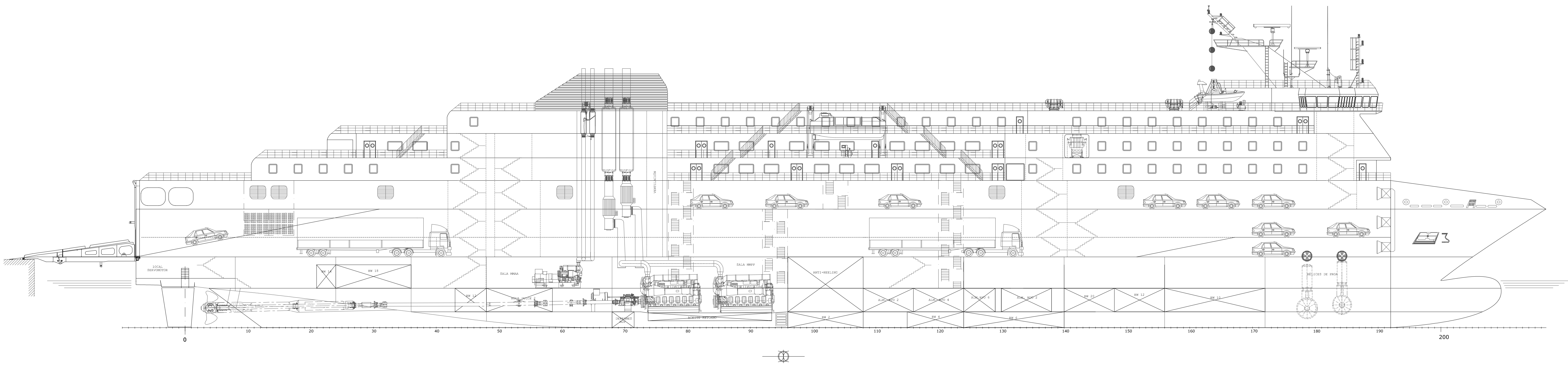
8.6. Tomas de combustible, agua y aceite

Tanto las tomas de combustible, agua y aceite están situadas en los costados, a la altura de la cubierta principal. Dichas tomas se encuentran en una posición longitudinal cercana a la de sus respectivos tanques, con objeto de minimizar la magnitud de la tubería asociada.

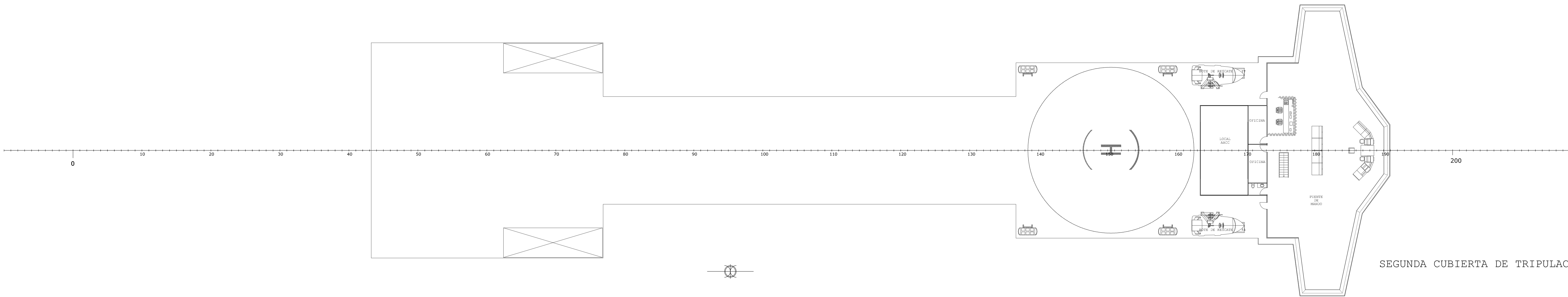


ANEXO 1.

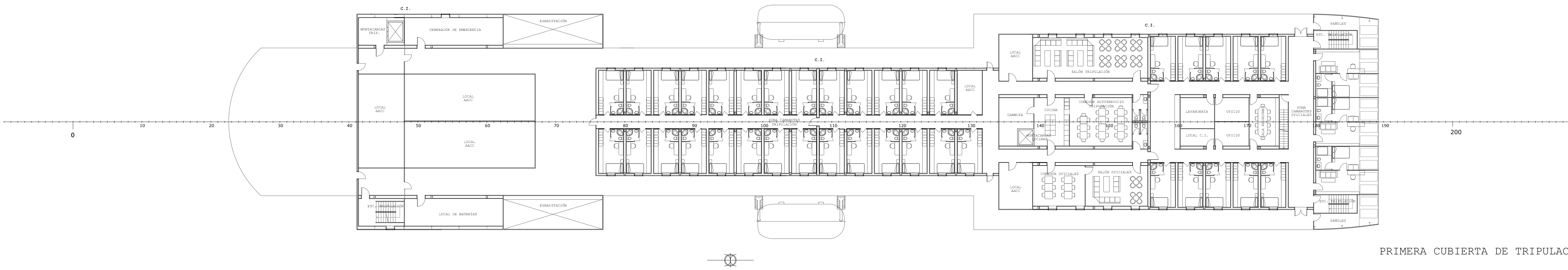
“PLANO DE DISPOSICIÓN GENERAL”



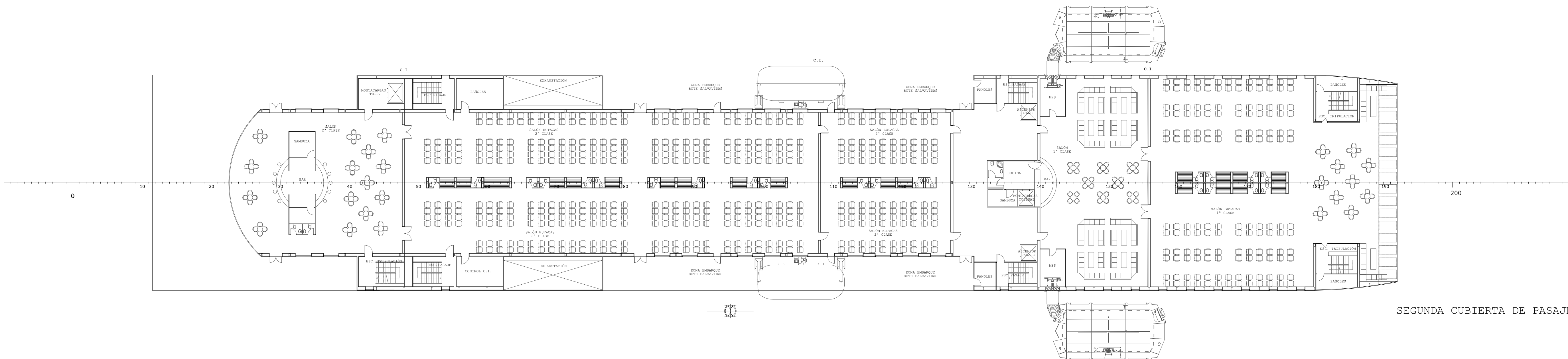
SECCIÓN LONGITUDINAL



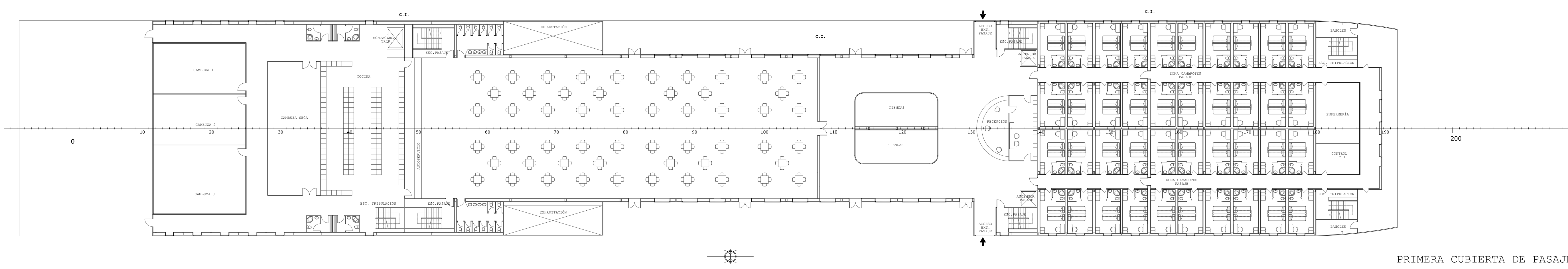
SEGUNDA CUBIERTA DE TRIPULACIÓN



PRIMERA CUBIERTA DE TRIPULACIÓN




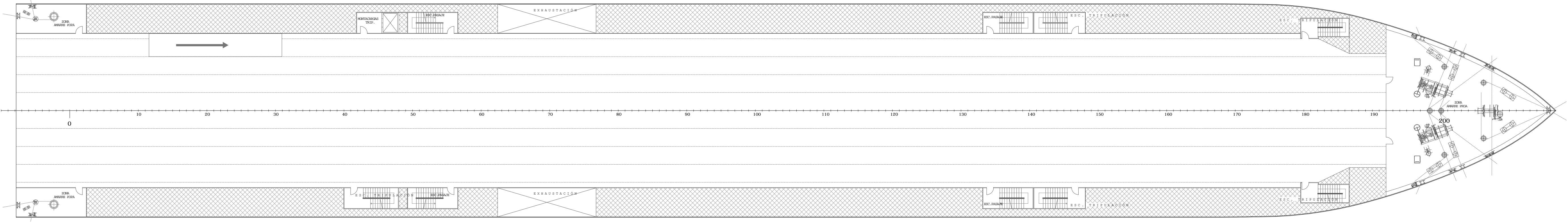
SEGUNDA CUBIERTA DE PASAJE



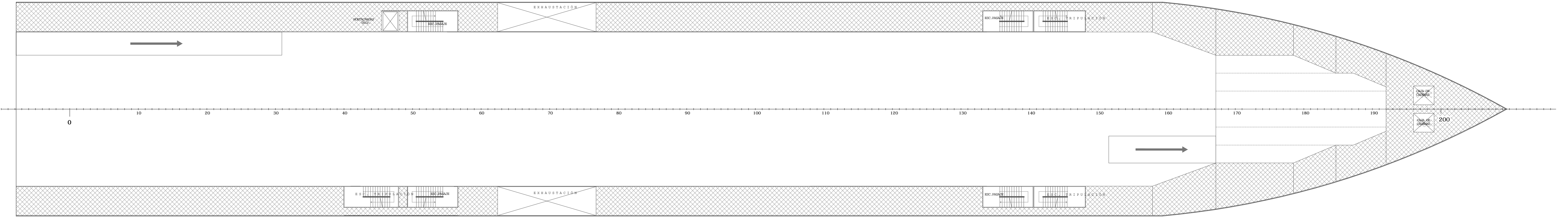
PRIMERA CUBIERTA DE PASAJE

CARACTERÍSTICAS	
ESLORA TOTAL APROX.	174 m.
ESLORA ENTRE PERPENDICULARES	160 m.
MANGA	25 m.
FUNTAL A LA CTA PRINCIPAL	9 m.
FUNTAL A LA CTA SUPERIOR	15,1 m.
CALADO DE PROYECTO	6 m.

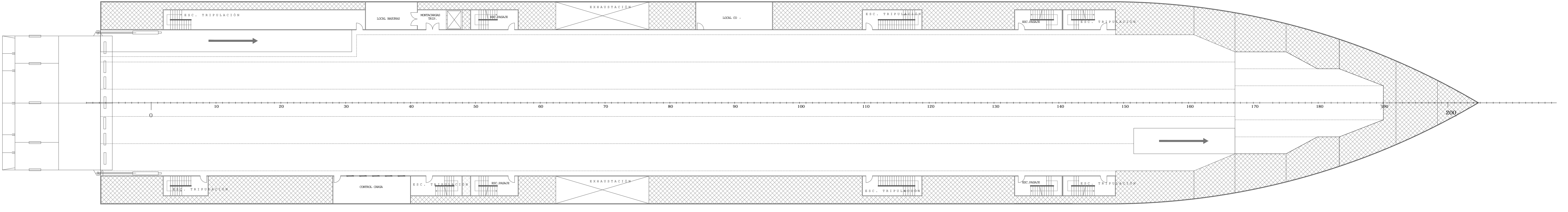
 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS NAVALES	
PROYECTO FIN DE CARRERA	
TÍTULO DE BACHILLER	PROYECTO 034
DISCIPLINA	ROPAX 4000 TPM
PROFESOR	DISPOSICIÓN GENERAL
ALUMNO	JOSÉ MARÍA RIOLA RODRÍGUEZ
AYUDANTE	FRANCISCO SASTRE GUASCH



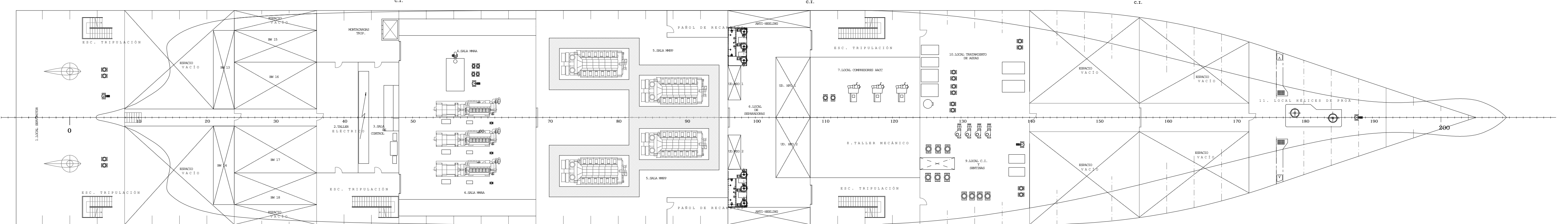
SEGUNDA CUBIERTA DE CARGA



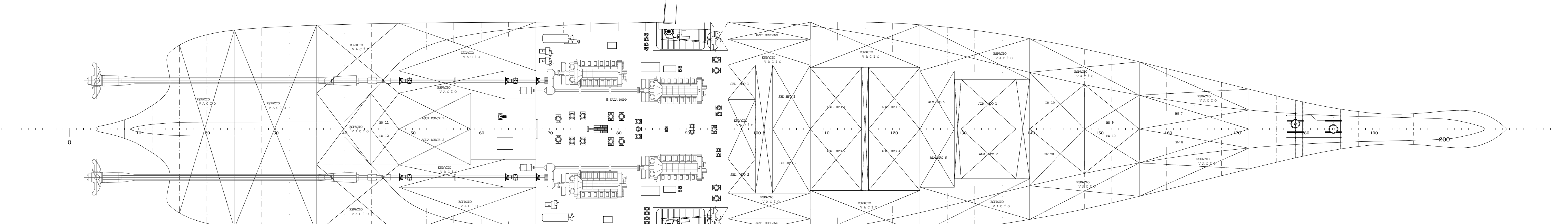
CUBIERTA PRINCIPAL DE CARGA
(PLATAFORMA CARDECK)



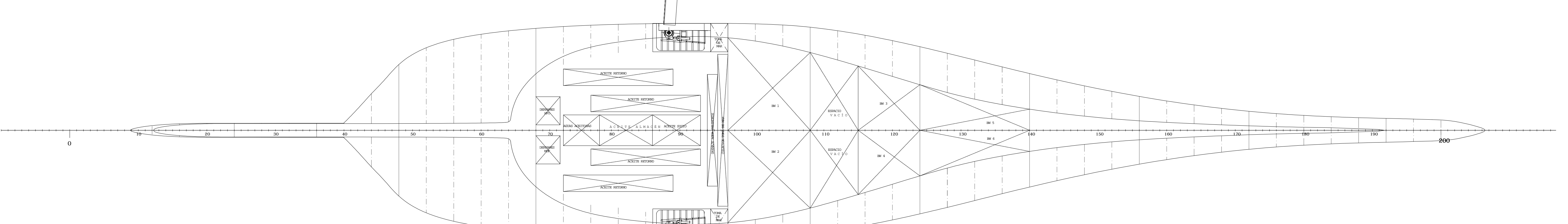
CUBIERTA PRINCIPAL DE CARGA



SEGUNDA CUBIERTA DE COM




PRIMERA CUBIERTA DE COM



CUBIERTA DE DOBLE FONDO

CARACTERÍSTICAS

ESLORA TOTAL APPROX.	174 m.
ESLORA ENTRE PERPENDICULARES	160 m.
MANERA	25 m.
PUNTAL A LA CTA PRINCIPAL	9 m.
PUNTAL A LA CTA SUPERIOR	15,1 m.
CALADO DE PROYECTO	6 m.

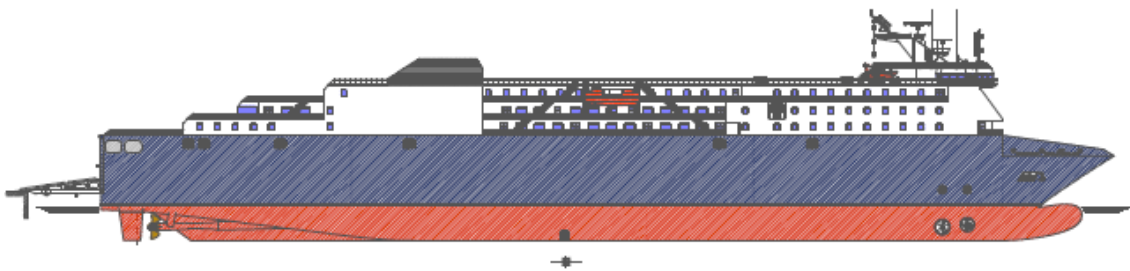
		ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS NAVALES	
		PROYECTO FIN DE CARRERA	
ROPAK 4000 TPM		PROYECTO 034	
DISPOSICIÓN GENERAL		DIN-A0	1/250
JOSÉ MARÍA RIOLA RODRÍGUEZ		FRANCISCO SASTRE GUASCH	



Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales

Proyecto Fin de Carrera nº034

ROPAX 4000 TPM



Cuaderno 5

Cálculos de Arquitectura Naval

Tutor:

José María Riola Rodríguez

Alumno:

Francisco Sastre Guasch



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	3
2. CURVAS HIDROSTÁTICAS.....	4
3. CARENAS INCLINADAS.....	15
4. TABLA Y PLANO DE CAPACIDADES	19
5. SITUACIONES DE CARGA PRELIMINARES	22
6.ESLORAS INUNDABLES	28
7. FRANCOBORDO	30
7.1 Valores utilizados en el cálculo del francobordo	30
7.2. Francobordo tabular	31
7.3. Correcciones.....	31
7.3.1. Corrección por eslora (Regla 29)	31
7.3.2. Corrección por coeficiente de bloque (Regla 30).....	31
7.3.3. Corrección por puntal (Regla 31)	31
7.3.4. Corrección por superestructuras	31
7.3.5. Corrección por arrufo (Regla 38).....	32
7.3.6. Corrección por espesor de cubierta	32
7.3.7. Corrección por altura mínima de la proa	33
7.3.8. Francobordo geométrico resultante.....	34
7.3.9. Francobordos mínimos (Regla 40)	36
8. ARQUEO	37



1. INTRODUCCIÓN

Una vez obtenidas las formas y el dimensionamiento básico de nuestro buque proyecto, tenemos los datos necesarios para obtener los cálculos que conforman el cuaderno de arquitectura naval, mediante el módulo Hydromax del programa Maxsurf.

Analizaremos el compartimentado descrito en el cuaderno de disposición general del buque proyecto, con el fin de obtener la curva de esloras inundables. Y por otra parte se llevará a cabo los cálculos de Francobordo y Arqueo.



2. CURVAS HIDROSTÁTICAS

Las siguientes tablas muestran las propiedades hidrostáticas de la carena para calados comprendidos entre 0,10m y 10,00m. Se ha considerado trimado nulo, densidad del agua salada de 1025kg/m^3 .

Características obtenidas:

- Desplazamiento.
- Eslora en la flotación.
- Manga en la flotación.
- Área mojada del casco.
- Área de la flotación.
- Coeficiente prismático.
- Coeficiente de bloque.
- Coeficiente de la maestra.
- Coeficiente de la flotación.
- Posición longitudinal y transversal del centro de carena.
- Posición longitudinal del centro de masas de la flotación.
- Altura metacéntrica longitudinal y transversal.
- Radio metacéntrico
- Posición longitudinal y transversal del metacentro respecto el centro de carena.
- Toneladas por centímetro de inmersión.
- Momento para trimar un centímetro.

Ropax 4000 TPM



Cálculos de Arquitectura Naval

Calado (m)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1
Displacement t	42,41	156	279,8	410	546,1	688,5	836,6	989,4	1146	1308	1474
Draft at FP m	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1
Draft at AP m	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10
Draft at LCF m	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10
WL Length m	146,04	147,06	147,88	148,61	149,27	149,89	150,48	151,03	151,56	152,07	152,56
Beam max extents on WL m	21,67	22,38	22,83	23,17	23,45	23,68	23,88	24,06	24,22	24,36	24,49
WettedArea m ²	1049,02	1187,99	1272,93	1339,17	1416,38	1487,07	1550,90	1608,34	1662,46	1722,04	1781,02
Waterpl. Area m ²	1039,57	1168,19	1241,62	1295,17	1359,88	1417,58	1467,82	1511,05	1550,48	1596,45	1640,86
Prismaticcoeff. (Cp)	0,34	0,34	0,35	0,35	0,36	0,37	0,37	0,38	0,38	0,38	0,39
Block coeff. (Cb)	0,13	0,23	0,27	0,29	0,31	0,32	0,33	0,33	0,34	0,34	0,35
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,88	0,94	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
Waterpl. areacoeff. (Cwp)	0,33	0,36	0,37	0,38	0,39	0,40	0,41	0,42	0,42	0,43	0,44
LCB from zero pt. (+vefwd) m	-78,46	-80,93	-81,40	-81,47	-81,46	-81,45	-81,43	-81,39	-81,32	-81,25	-81,19
LCF from zero pt. (+vefwd) m	-81,47	-82,10	-81,83	-81,39	-81,41	-81,37	-81,24	-81,01	-80,75	-80,72	-80,69
KB m	0,08	0,13	0,18	0,24	0,29	0,34	0,40	0,45	0,51	0,56	0,62
KG m	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07
BMt m	599,56	198,38	124,26	92,09	74,06	62,55	54,52	48,51	43,85	40,12	37,07
BML m	11535,18	3764,94	2339,98	1730,13	1429,50	1230,00	1084,70	972,76	885,35	824,75	774,71
GMt m	593,57	192,44	118,38	86,26	68,28	56,83	48,85	42,90	38,29	34,62	31,62
GML m	11529,19	3759,00	2334,10	1724,30	1423,72	1224,28	1079,03	967,15	879,79	819,25	769,26
KMt m	599,64	198,51	124,45	92,32	74,35	62,89	54,92	48,96	44,35	40,68	37,68
KML m	11535,26	3765,07	2340,16	1730,37	1429,79	1230,34	1085,10	973,21	885,85	825,31	775,33
Immersion (TPc) tonne/cm	10,66	11,97	12,73	13,28	13,94	14,53	15,05	15,49	15,89	16,36	16,82
MTctonne.m	-30,56	-36,66	-40,82	-44,18	-48,59	-52,69	-56,42	-59,80	-63,04	-66,96	-70,86
RM at 1deg	439,30	524,00	578,11	617,16	650,75	682,85	713,23	740,65	765,98	790,06	813,22



Calado (m)	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2
Displacement t	1644	1819	1998	2180	2366	2556	2750	2946	3147	3352	3559
Draft at FP m	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2
Draft at AP m	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90	2,00	2,10	2,20
Draft at LCF m	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90	2,00	2,10	2,20
WL Length m	153,04	153,50	153,94	154,37	154,79	155,19	155,58	155,96	156,32	156,68	157,02
Beam max extents on WL m	24,60	24,69	24,77	24,83	24,88	24,92	24,95	24,98	25,00	25,00	25,00
WettedArea m ²	1838,49	1893,63	1946,17	1997,18	2051,45	2107,13	2161,58	2208,33	2259,32	2308,68	2358,41
Waterpl. Area m ²	1683,33	1723,04	1759,70	1794,37	1832,36	1871,73	1909,46	1944,06	1977,93	2009,71	2041,63
Prismaticcoeff. (Cp)	0,39	0,40	0,40	0,40	0,41	0,41	0,41	0,42	0,42	0,42	0,43
Block coeff. (Cb)	0,36	0,36	0,37	0,37	0,38	0,38	0,38	0,39	0,39	0,40	0,40
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,95	0,95	0,95	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,97
Waterpl. areacoeff. (Cwp)	0,45	0,46	0,46	0,47	0,48	0,48	0,49	0,50	0,51	0,51	0,52
LCB from zero pt. (+vefwd) m	-81,14	-81,10	-81,05	-81,00	-80,95	-80,91	-80,87	-80,82	-80,79	-80,76	-80,74
LCF from zero pt. (+vefwd) m	-80,66	-80,60	-80,49	-80,37	-80,35	-80,38	-80,39	-80,37	-80,36	-80,32	-80,30
KB m	0,67	0,73	0,78	0,84	0,90	0,95	1,01	1,06	1,12	1,18	1,23
KG m	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07
BMt m	34,53	32,37	30,51	28,89	27,46	26,19	25,05	24,03	23,10	22,24	21,45
BML m	732,05	694,37	660,51	630,54	607,94	589,70	572,68	553,82	538,11	522,87	509,47
GMt m	29,13	27,03	25,23	23,66	22,28	21,07	19,99	19,03	18,15	17,35	16,62
GML m	726,65	689,03	655,23	625,31	602,77	584,59	567,62	548,81	533,16	517,98	504,64
KMt m	35,20	33,10	31,29	29,72	28,35	27,14	26,06	25,09	24,22	23,41	22,68
KML m	732,72	695,09	661,30	631,38	608,84	590,66	573,69	554,88	539,23	524,05	510,70
Immersion (TPc) tonne/cm	17,25	17,66	18,04	18,39	18,78	19,19	19,57	19,93	20,27	20,60	20,93
MTctonne.m	-74,68	-78,33	-81,80	-85,19	-89,12	-93,38	-97,55	-101,07	-104,88	-108,51	-112,27
RM at 1deg	835,91	858,15	879,46	899,98	920,07	939,88	959,26	978,38	996,88	1014,63	1032,23



Calado (m)	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3	3,1	3,2	3,3
Displacement t	3771	3986	4204	4426	4651	4879	5111	5346	5585	5828	6073
Draft at FP m	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3	3,1	3,2	3,3
Draft at AP m	2,30	2,40	2,50	2,60	2,70	2,80	2,90	3,00	3,10	3,20	3,30
Draft at LCF m	2,30	2,40	2,50	2,60	2,70	2,80	2,90	3,00	3,10	3,20	3,30
WL Length m	157,36	157,68	158,00	158,31	158,60	158,89	159,18	159,45	159,72	159,97	160,23
Beam max extents on WL m	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
WettedArea m ²	2412,76	2466,72	2519,31	2570,31	2619,43	2668,88	2721,93	2777,00	2831,68	2882,67	2931,54
Waterpl. Area m ²	2078,45	2114,49	2148,82	2181,25	2211,47	2242,00	2276,35	2312,42	2347,76	2379,38	2408,39
Prismaticcoeff. (Cp)	0,43	0,44	0,44	0,44	0,45	0,45	0,45	0,46	0,46	0,46	0,47
Block coeff. (Cb)	0,41	0,41	0,42	0,42	0,42	0,43	0,43	0,44	0,44	0,44	0,45
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,98	0,98	0,98
Waterpl. areacoeff. (Cwp)	0,53	0,54	0,54	0,55	0,56	0,57	0,57	0,58	0,59	0,60	0,60
LCB from zero pt. (+vefwd) m	-80,71	-80,70	-80,69	-80,69	-80,69	-80,68	-80,69	-80,69	-80,71	-80,73	-80,75
LCF from zero pt. (+vefwd) m	-80,41	-80,52	-80,60	-80,64	-80,65	-80,68	-80,81	-80,98	-81,14	-81,27	-81,33
KB m	1,29	1,35	1,41	1,46	1,52	1,58	1,64	1,69	1,75	1,81	1,87
KG m	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07
BMt m	20,74	20,09	19,49	18,94	18,41	17,90	17,44	17,02	16,65	16,30	15,94
BML m	500,60	492,09	483,43	474,60	465,49	457,54	452,36	448,31	444,16	438,03	431,76
GMt m	15,96	15,37	14,83	14,33	13,86	13,41	13,01	12,65	12,34	12,04	11,74
GML m	495,83	487,37	478,76	470,00	460,94	453,05	447,92	443,94	439,84	433,77	427,56
KMt m	22,03	21,44	20,90	20,40	19,93	19,48	19,07	18,72	18,41	18,11	17,81
KML m	501,90	493,44	484,83	476,07	467,01	459,11	453,99	450,00	445,91	439,84	433,62
Immersion (TPc) tonne/cm	21,30	21,67	22,03	22,36	22,67	22,98	23,33	23,70	24,07	24,39	24,69
MTctonne.m	-116,85	-121,40	-125,80	-130,02	-134,00	-138,16	-143,09	-148,34	-153,54	-157,99	-162,29
RM at 1deg	1050,38	1069,25	1088,26	1106,99	1125,00	1142,31	1160,08	1180,29	1202,66	1224,80	1244,25



Calado (m)	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	4	4,1	4,2	4,3	4,4
Displacement t	6321	6573	6828	7088	7350	7616	7884	8156	8433	8712	8994
Draft at FP m	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	4	4,1	4,2	4,3	4,4
Draft at AP m	3,40	3,50	3,60	3,70	3,80	3,90	4,00	4,10	4,20	4,30	4,40
Draft at LCF m	3,40	3,50	3,60	3,70	3,80	3,90	4,00	4,10	4,20	4,30	4,40
WL Length m	160,47	160,71	160,94	161,16	161,38	161,59	161,80	161,99	162,19	162,37	162,55
Beam max extents on WL m	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
WettedArea m ²	2981,93	3034,42	3093,03	3149,17	3198,79	3247,94	3299,01	3367,62	3419,56	3467,97	3516,98
Waterpl. Area m ²	2439,17	2471,76	2510,17	2545,77	2574,99	2603,54	2633,66	2680,96	2711,89	2738,72	2765,70
Prismaticcoeff. (Cp)	0,47	0,47	0,48	0,48	0,49	0,49	0,49	0,50	0,50	0,50	0,51
Block coeff. (Cb)	0,45	0,46	0,46	0,46	0,47	0,47	0,48	0,48	0,48	0,49	0,49
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
Waterpl. areacoeff. (Cwp)	0,61	0,62	0,62	0,63	0,64	0,65	0,65	0,66	0,67	0,68	0,68
LCB from zero pt. (+vefwd) m	-80,78	-80,81	-80,84	-80,89	-80,93	-80,98	-81,03	-81,09	-81,16	-81,23	-81,31
LCF from zero pt. (+vefwd) m	-81,45	-81,62	-81,91	-82,15	-82,27	-82,40	-82,57	-83,11	-83,32	-83,46	-83,62
KB m	1,93	1,98	2,04	2,10	2,16	2,22	2,28	2,34	2,40	2,46	2,52
KG m	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07
BMt m	15,58	15,25	14,99	14,76	14,49	14,21	13,94	13,80	13,60	13,36	13,12
BML m	426,99	423,32	422,14	419,73	415,21	410,86	407,42	410,61	407,60	403,30	399,36
GMt m	11,44	11,17	10,96	10,80	10,58	10,36	10,15	10,07	9,93	9,75	9,57
GML m	422,85	419,24	418,11	415,76	411,30	407,01	403,63	406,88	403,93	399,69	395,81
KMt m	17,51	17,23	17,03	16,86	16,65	16,43	16,22	16,14	15,99	15,82	15,64
KML m	428,92	425,31	424,18	421,83	417,37	413,08	409,70	412,95	409,99	405,76	401,88
Immersion (TPc) tonne/cm	25,00	25,34	25,73	26,09	26,39	26,69	27,00	27,48	27,80	28,07	28,35
MTctonne.m	-167,06	-172,23	-178,44	-184,17	-188,95	-193,73	-198,89	-207,41	-212,89	-217,63	-222,50
RM at 1deg	1262,30	1281,05	1306,58	1335,61	1357,42	1376,89	1396,37	1433,66	1460,63	1482,23	1502,35



Calado (m)	4,5	4,6	4,7	4,8	4,9	5	5,1	5,2	5,3	5,4	5,5
Displacement t	9280	9570	9863	10159	10459	10763	11070	11381	11696	12015	12338
Draft at FP m	4,5	4,6	4,7	4,8	4,9	5	5,1	5,2	5,3	5,4	5,5
Draft at AP m	4,50	4,60	4,70	4,80	4,90	5,00	5,10	5,20	5,30	5,40	5,50
Draft at LCF m	4,50	4,60	4,70	4,80	4,90	5,00	5,10	5,20	5,30	5,40	5,50
WL Length m	162,72	162,89	163,04	163,20	163,34	163,63	164,69	165,86	167,21	168,94	171,84
Beam max extents on WL m	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
WettedArea m ²	3592,56	3642,55	3691,01	3741,34	3819,88	3869,83	3931,87	4002,56	4054,34	4138,65	4195,75
Waterpl. Area m ²	2817,91	2845,30	2870,50	2897,09	2951,25	2976,20	3012,54	3056,87	3081,53	3137,95	3166,58
Prismaticcoeff. (Cp)	0,51	0,51	0,52	0,52	0,52	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,52
Block coeff. (Cb)	0,50	0,50	0,50	0,51	0,51	0,51	0,51	0,52	0,52	0,51	0,51
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
Waterpl. areacoeff. (Cwp)	0,69	0,70	0,70	0,71	0,72	0,73	0,73	0,74	0,74	0,74	0,74
LCB from zero pt. (+vefwd) m	-81,38	-81,48	-81,57	-81,66	-81,77	-81,89	-82,00	-82,14	-82,27	-82,42	-82,58
LCF from zero pt. (+vefwd) m	-84,31	-84,51	-84,68	-84,90	-85,71	-85,94	-86,43	-87,09	-87,36	-88,31	-88,70
KB m	2,58	2,64	2,70	2,76	2,82	2,88	2,94	3,00	3,06	3,12	3,18
KG m	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07
BMt m	13,04	12,85	12,64	12,43	12,39	12,20	12,08	11,98	11,80	11,75	11,59
BML m	404,75	400,96	396,66	393,14	399,46	395,35	395,61	398,53	394,60	402,15	399,92
GMt m	9,55	9,42	9,27	9,12	9,14	9,01	8,95	8,90	8,79	8,80	8,70
GML m	401,26	397,53	393,29	389,83	396,20	392,16	392,48	395,46	391,59	399,20	397,03
KMt m	15,61	15,48	15,34	15,19	15,20	15,08	15,01	14,97	14,86	14,87	14,77
KML m	407,33	403,60	399,35	395,89	402,27	398,22	398,54	401,53	397,65	405,27	403,10
Immersion (TPc) tonne/cm	28,88	29,16	29,42	29,70	30,25	30,51	30,88	31,33	31,59	32,16	32,46
MTctonne.m	-232,73	-237,78	-242,44	-247,51	-259,00	-263,80	-271,53	-281,31	-286,25	-299,78	-306,17
RM at 1deg	1545,99	1572,52	1595,39	1616,99	1667,78	1692,81	1728,12	1768,58	1794,74	1845,64	1874,10



Calado (m)	5,6	5,7	5,8	5,9	6	6,1	6,2	6,3	6,4	6,5	6,6
Displacement t	12667	13000	13338	13683	14033	14387	14743	15101	15460	15821	16184
Draft at FP m	5,6	5,7	5,8	5,9	6	6,1	6,2	6,3	6,4	6,5	6,6
Draft at AP m	5,60	5,70	5,80	5,90	6,00	6,10	6,20	6,30	6,40	6,50	6,60
Draft at LCF m	5,60	5,70	5,80	5,90	6,00	6,10	6,20	6,30	6,40	6,50	6,60
WL Length m	174,06	174,03	173,99	173,93	173,86	173,77	173,66	173,53	173,35	173,12	172,80
Beam max extents on WL m	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
WettedArea m ²	4281,58	4367,00	4453,66	4535,83	4616,35	4670,80	4724,56	4771,29	4816,87	4861,59	4907,45
Waterpl. Area m ²	3223,17	3278,04	3333,97	3388,91	3440,94	3464,31	3479,85	3498,35	3514,97	3529,92	3541,64
Prismaticcoeff. (Cp)	0,52	0,52	0,53	0,53	0,54	0,54	0,55	0,55	0,56	0,56	0,57
Block coeff. (Cb)	0,51	0,51	0,52	0,52	0,53	0,53	0,53	0,54	0,54	0,55	0,55
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
Waterpl. areacoeff. (Cwp)	0,74	0,75	0,77	0,78	0,79	0,80	0,80	0,81	0,81	0,82	0,82
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	-82,76	-82,95	-83,15	-83,37	-83,61	-83,85	-84,08	-84,30	-84,52	-84,72	-84,92
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	-89,66	-90,61	-91,57	-92,39	-93,15	-93,35	-93,54	-93,56	-93,56	-93,54	-93,56
KB m	3,24	3,30	3,36	3,43	3,49	3,55	3,62	3,68	3,74	3,80	3,86
KG m	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07
BMt m	11,53	11,46	11,38	11,31	11,26	11,14	11,01	10,87	10,72	10,58	10,43
BML m	407,65	414,81	422,41	430,07	436,53	432,00	424,13	419,04	413,58	407,81	400,72
GMt m	8,71	8,69	8,68	8,67	8,68	8,63	8,56	8,48	8,40	8,31	8,22
GML m	404,82	412,05	419,71	427,43	433,95	429,49	421,68	416,66	411,26	405,54	398,51
KMt m	14,77	14,76	14,75	14,74	14,75	14,70	14,62	14,55	14,46	14,38	14,29
KML m	410,89	418,11	425,77	433,50	440,02	435,55	427,74	422,72	417,32	411,61	404,58
Immersion (TPc) tonne/cm	33,04	33,60	34,17	34,74	35,27	35,51	35,67	35,86	36,03	36,18	36,30
MTctonne.m	-320,49	-334,78	-349,89	-365,53	-380,61	-386,20	-388,55	-393,24	-397,39	-401,01	-403,09
RM at 1deg	1924,90	1972,19	2020,88	2069,95	2126,24	2166,33	2201,65	2234,52	2265,33	2294,37	2321,97



Calado (m)	6,7	6,8	6,9	7	7,1	7,2	7,3	7,4	7,5	7,6	7,7
Displacement t	16548	16913	17280	17648	18017	18387	18759	19132	19506	19882	20258
Draft at FP m	6,7	6,8	6,9	7	7,1	7,2	7,3	7,4	7,5	7,6	7,7
Draft at AP m	6,70	6,80	6,90	7,00	7,10	7,20	7,30	7,40	7,50	7,60	7,70
Draft at LCF m	6,70	6,80	6,90	7,00	7,10	7,20	7,30	7,40	7,50	7,60	7,70
WL Length m	172,19	167,35	167,49	167,62	167,76	167,89	168,02	168,16	168,29	168,42	168,56
Beam max extents on WL m	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
WettedArea m ²	4949,46	4990,90	5032,12	5073,09	5113,87	5154,50	5195,01	5235,43	5275,76	5316,02	5356,19
Waterpl. Area m ²	3556,15	3570,17	3583,56	3596,43	3608,86	3620,90	3632,60	3644,00	3655,13	3665,99	3676,56
Prismaticcoeff. (Cp)	0,57	0,59	0,60	0,60	0,60	0,61	0,61	0,61	0,61	0,62	0,62
Block coeff. (Cb)	0,56	0,58	0,58	0,59	0,59	0,59	0,60	0,60	0,60	0,61	0,61
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
Waterpl. areacoeff. (Cwp)	0,83	0,85	0,86	0,86	0,86	0,86	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
LCB from zero pt. (+vefwd) m	-85,11	-85,29	-85,46	-85,62	-85,77	-85,91	-86,05	-86,18	-86,30	-86,41	-86,52
LCF from zero pt. (+vefwd) m	-93,46	-93,34	-93,22	-93,09	-92,95	-92,81	-92,67	-92,52	-92,37	-92,22	-92,07
KB m	3,93	3,99	4,05	4,11	4,17	4,23	4,29	4,35	4,41	4,47	4,53
KG m	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07
BMt m	10,27	10,13	9,98	9,83	9,69	9,55	9,41	9,27	9,14	9,01	8,88
BML m	395,86	391,15	386,46	381,83	377,28	372,82	368,44	364,16	359,97	355,88	351,87
GMt m	8,13	8,04	7,96	7,87	7,79	7,71	7,63	7,55	7,48	7,41	7,34
GML m	393,71	389,06	384,44	379,87	375,38	370,98	366,66	362,43	358,31	354,27	350,33
KMt m	14,20	14,11	14,02	13,94	13,85	13,77	13,69	13,62	13,54	13,47	13,41
KML m	399,78	395,13	390,51	385,94	381,45	377,04	372,73	368,50	364,38	360,34	356,39
Immersion (TPc) tonne/cm	36,45	36,59	36,73	36,86	36,99	37,11	37,23	37,35	37,47	37,58	37,69
MTctonne.m	-407,19	-411,26	-415,18	-418,99	-422,70	-426,33	-429,89	-433,39	-436,83	-440,22	-443,56
RM at 1deg	2348,47	2374,17	2399,25	2423,91	2448,32	2472,61	2496,86	2521,15	2545,54	2570,08	2594,71



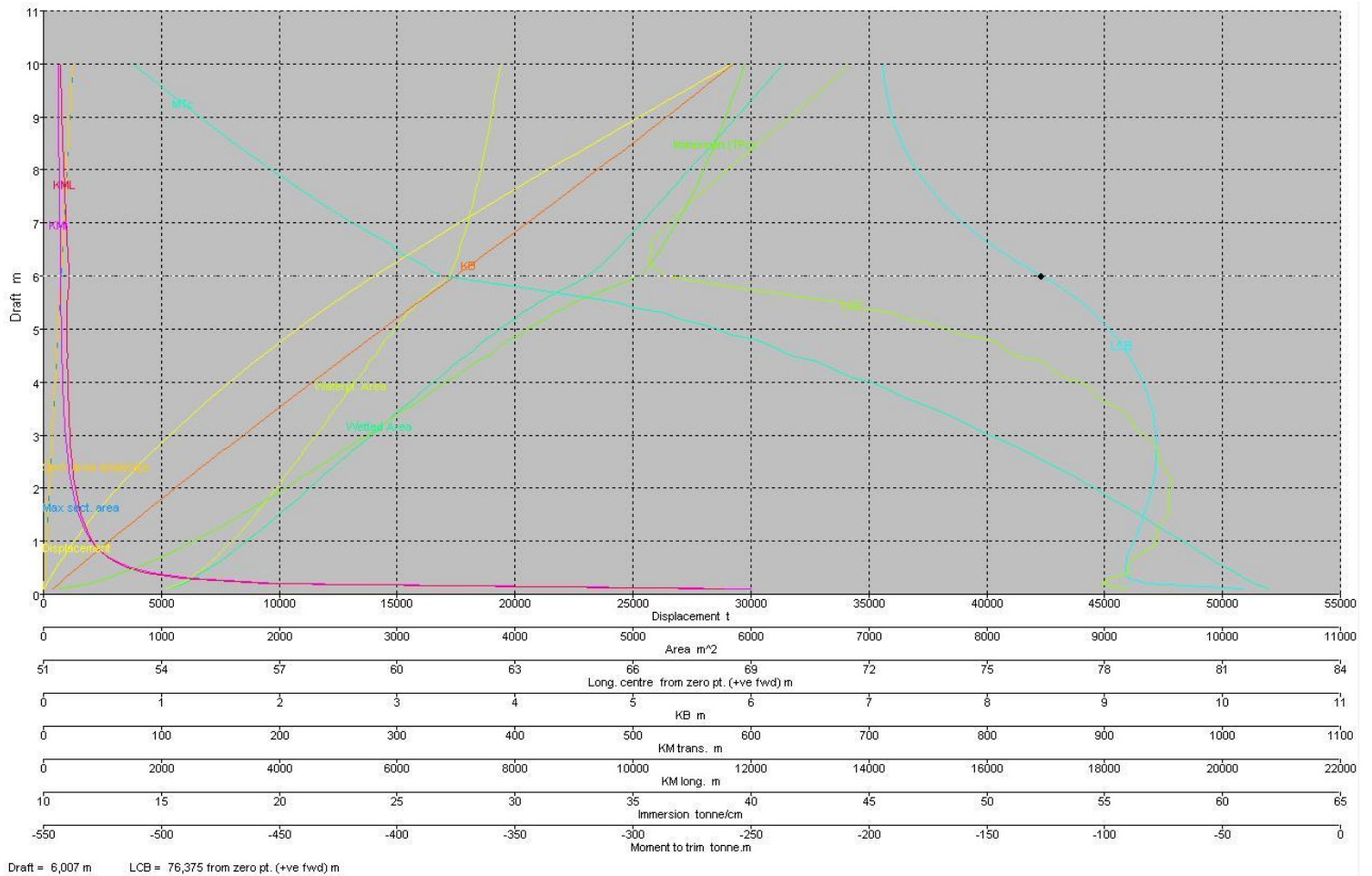
Calado (m)	7,8	7,9	8	8,1	8,2	8,3	8,4	8,5	8,6	8,7	8,8
Displacement t	20635	21014	21393	21774	22155	22538	22921	23306	23691	24077	24464
Draft at FP m	7,8	7,9	8	8,1	8,2	8,3	8,4	8,5	8,6	8,7	8,8
Draft at AP m	7,80	7,90	8,00	8,10	8,20	8,30	8,40	8,50	8,60	8,70	8,80
Draft at LCF m	7,80	7,90	8,00	8,10	8,20	8,30	8,40	8,50	8,60	8,70	8,80
WL Length m	168,69	168,83	168,96	169,09	169,23	169,36	169,50	169,63	169,76	169,90	170,03
Beam max extents on WL m	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
WettedArea m^2	5396,32	5436,38	5476,39	5516,36	5556,30	5596,20	5636,08	5675,93	5715,75	5755,55	5795,29
Waterpl. Area m^2	3686,91	3697,01	3706,88	3716,52	3725,99	3735,30	3744,47	3753,51	3762,41	3771,19	3779,80
Prismaticcoeff. (Cp)	0,62	0,63	0,63	0,63	0,63	0,64	0,64	0,64	0,64	0,65	0,65
Block coeff. (Cb)	0,61	0,62	0,62	0,62	0,62	0,63	0,63	0,63	0,63	0,64	0,64
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
Waterpl. areacoeff. (Cwp)	0,87	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,89	0,89	0,89	0,89
LCB from zero pt. (+vefwd) m	-86,62	-86,71	-86,80	-86,88	-86,96	-87,03	-87,09	-87,16	-87,21	-87,27	-87,32
LCF from zero pt. (+vefwd) m	-91,91	-91,76	-91,60	-91,44	-91,28	-91,13	-90,96	-90,80	-90,64	-90,48	-90,32
KB m	4,58	4,64	4,70	4,76	4,82	4,88	4,94	4,99	5,05	5,11	5,17
KG m	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07
BMt m	8,76	8,64	8,52	8,40	8,29	8,17	8,07	7,96	7,86	7,76	7,66
BML m	347,96	344,13	340,38	336,72	333,14	329,64	326,23	322,89	319,62	316,43	313,30
GMt m	7,27	7,21	7,15	7,09	7,04	6,98	6,93	6,89	6,84	6,80	6,76
GML m	346,47	342,70	339,02	335,41	331,89	328,45	325,10	321,82	318,61	315,47	312,40
KMt m	13,34	13,28	13,22	13,16	13,10	13,05	13,00	12,95	12,91	12,87	12,82
KML m	352,54	348,77	345,08	341,48	337,96	334,52	331,16	327,88	324,67	321,54	318,47
Immersion (TPc) tonne/cm	37,79	37,89	38,00	38,09	38,19	38,29	38,38	38,47	38,57	38,66	38,74
MTctonne.m	-446,85	-450,09	-453,30	-456,45	-459,58	-462,67	-465,73	-468,76	-471,75	-474,73	-477,66
RM at 1deg	2619,53	2644,53	2669,72	2695,13	2720,90	2747,05	2773,66	2800,74	2828,30	2856,36	2884,88



Calado (m)	8,9	9	9,1	9,2	9,3	9,4	9,5	9,6	9,7	9,8	9,9	10
Displacement t	24852	25241	25630	26021	26412	26804	27197	27591	27986	28381	28777	29174
Draft at FP m	8,9	9	9,1	9,2	9,3	9,4	9,5	9,6	9,7	9,8	9,9	10
Draft at AP m	8,90	9,00	9,10	9,20	9,30	9,40	9,50	9,60	9,70	9,80	9,90	10,00
Draft at LCF m	8,90	9,00	9,10	9,20	9,30	9,40	9,50	9,60	9,70	9,80	9,90	10,00
WL Length m	170,17	170,30	170,44	170,57	170,71	170,84	170,97	171,11	171,24	171,38	171,51	171,65
Beam max extents on WL m	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
WettedArea m^2	5835,41	5875,44	5915,43	5955,36	5995,26	6035,11	6074,92	6114,68	6154,38	6194,03	6233,62	6273,15
Waterpl. Area m^2	3788,30	3796,63	3804,89	3813,09	3821,24	3829,35	3837,39	3845,38	3853,28	3861,11	3868,77	3876,27
Prismaticcoeff. (Cp)	0,65	0,65	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67
Block coeff. (Cb)	0,64	0,64	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
Waterpl. areacoeff. (Cwp)	0,89	0,89	0,89	0,89	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
LCB from zero pt. (+vefwd) m	-87,36	-87,40	-87,44	-87,48	-87,51	-87,54	-87,56	-87,59	-87,61	-87,62	-87,64	-87,65
LCF from zero pt. (+vefwd) m	-90,16	-90,00	-89,85	-89,69	-89,54	-89,38	-89,23	-89,08	-88,93	-88,79	-88,64	-88,50
KB m	5,22	5,28	5,34	5,40	5,45	5,51	5,57	5,62	5,68	5,74	5,79	5,85
KG m	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07
BMt m	7,56	7,47	7,38	7,29	7,20	7,11	7,03	6,95	6,87	6,80	6,72	6,65
BML m	310,26	307,29	304,38	301,54	298,77	296,07	293,42	290,84	288,31	285,83	283,40	281,01
GMt m	6,72	6,68	6,65	6,61	6,58	6,56	6,53	6,51	6,49	6,47	6,45	6,43
GML m	309,42	306,50	303,65	300,87	298,16	295,51	292,92	290,39	287,92	285,50	283,12	280,79
KMt m	12,79	12,75	12,71	12,68	12,65	12,62	12,60	12,58	12,55	12,53	12,51	12,50
KML m	315,48	312,57	309,72	306,94	304,22	301,58	298,99	296,46	293,99	291,57	289,19	286,86
Immersion (TPc) tonne/cm	38,83	38,92	39,00	39,08	39,17	39,25	39,33	39,42	39,50	39,58	39,66	39,73
MTctonne.m	-480,60	-483,52	-486,42	-489,31	-492,19	-495,06	-497,92	-500,77	-503,60	-506,43	-509,22	-511,99
RM at 1deg	2913,74	2943,02	2972,98	3003,66	3035,05	3067,20	3100,04	3133,61	3167,82	3202,69	3238,00	3273,72



Gráfica ; Curvas hidrostáticas.





3. CARENAS INCLINADAS

Dichas curvas se obtienen directamente a partir de las formas del casco e indican, en función del ángulo de escora y del desplazamiento, la distancia entre el punto K de intersección de crujía y el plano base, en la cuaderna maestra, y la recta que contiene al metacentro transversal.

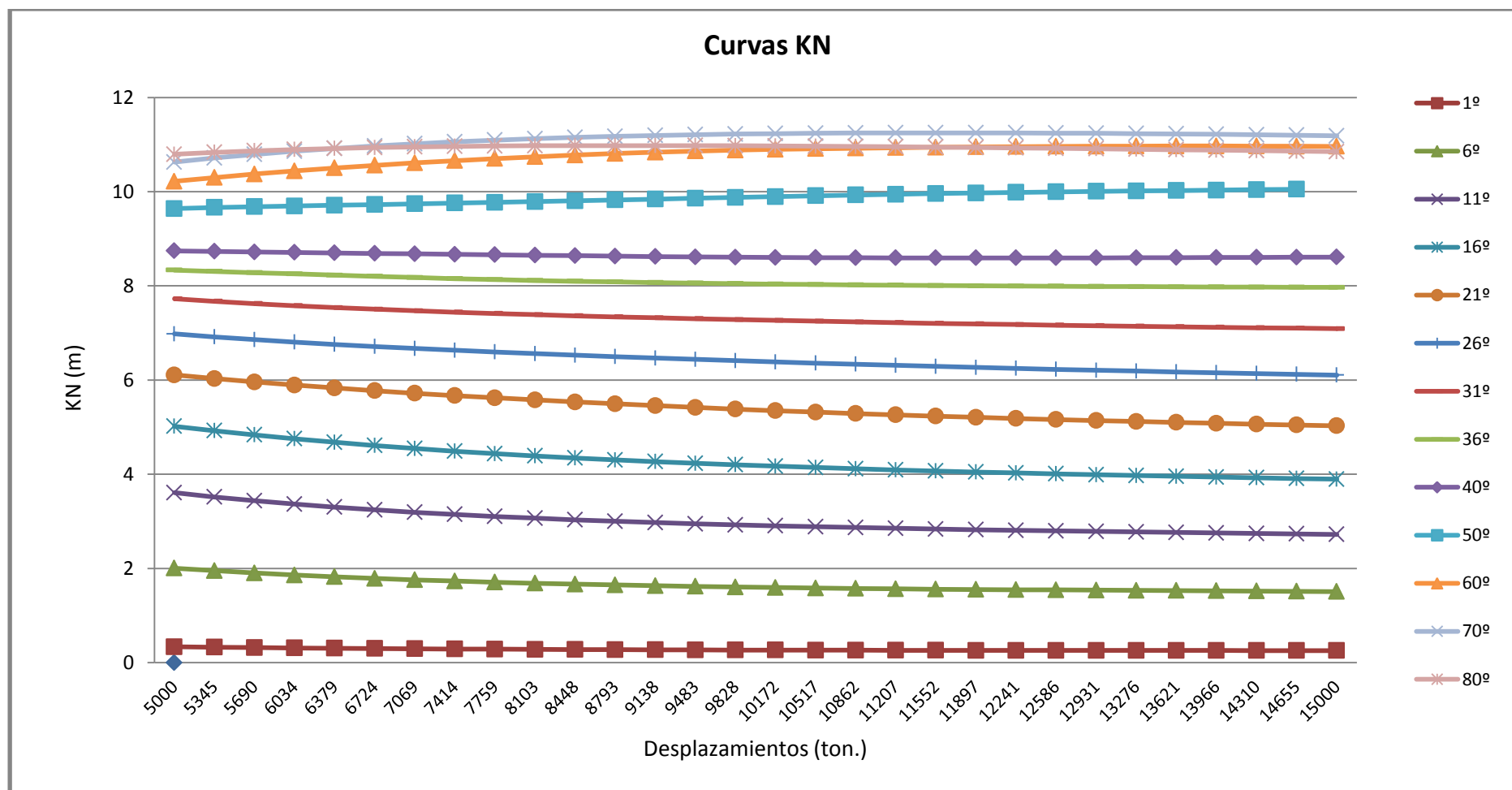
En la siguiente tabla se muestran los valores obtenidos para ángulos de escora comprendidos entre 1° y 80° (con intervalos de 5° hasta un ángulo de escora de 40° y con intervalos de 10° para ángulos de escora superiores) para desplazamientos entre 5000 tons y 15000 tons, con un total de 30 datos.



Tabla de datos _Curvas KN													
Desplazamientos	1º	6º	11º	16º	21º	26º	31º	36º	40º	50º	60º	70º	80º
5000	0,336	2,006	3,608	5,018	6,108	6,981	7,726	8,335	8,744	9,640	10,220	10,628	10,792
5345	0,327	1,951	3,517	4,923	6,030	6,916	7,671	8,307	8,731	9,664	10,300	10,714	10,834
5690	0,319	1,903	3,437	4,835	5,958	6,858	7,622	8,280	8,719	9,680	10,373	10,791	10,868
6034	0,311	1,860	3,365	4,754	5,892	6,805	7,578	8,253	8,709	9,694	10,441	10,858	10,896
6379	0,304	1,822	3,301	4,679	5,831	6,757	7,538	8,227	8,698	9,710	10,503	10,918	10,918
6724	0,299	1,788	3,244	4,610	5,773	6,712	7,503	8,201	8,688	9,726	10,559	10,970	10,936
7069	0,294	1,758	3,192	4,547	5,720	6,671	7,470	8,177	8,679	9,742	10,611	11,017	10,950
7414	0,289	1,731	3,146	4,489	5,670	6,632	7,441	8,154	8,670	9,757	10,658	11,057	10,961
7759	0,285	1,707	3,104	4,436	5,622	6,595	7,413	8,133	8,660	9,773	10,702	11,093	10,969
8103	0,282	1,685	3,066	4,388	5,577	6,561	7,388	8,114	8,650	9,789	10,741	11,124	10,974
8448	0,279	1,665	3,032	4,344	5,535	6,528	7,364	8,098	8,640	9,806	10,777	11,151	10,977
8793	0,275	1,648	3,001	4,304	5,494	6,497	7,342	8,084	8,630	9,823	10,808	11,174	10,979
9138	0,273	1,632	2,972	4,266	5,455	6,467	7,321	8,070	8,621	9,841	10,837	11,193	10,978
9483	0,271	1,618	2,947	4,232	5,419	6,438	7,302	8,058	8,613	9,859	10,862	11,210	10,977
9828	0,268	1,605	2,924	4,200	5,384	6,411	7,283	8,047	8,607	9,877	10,883	11,223	10,974



Tabla de datos _Curvas KN													
Desplazamientos	1º	6º	11º	16º	21º	26º	31º	36º	40º	50º	60º	70º	80º
10172	0,266	1,593	2,903	4,170	5,350	6,385	7,266	8,038	8,603	9,895	10,898	11,233	10,970
10517	0,265	1,583	2,885	4,142	5,318	6,360	7,249	8,029	8,599	9,912	10,911	11,240	10,965
10862	0,263	1,574	2,867	4,116	5,288	6,336	7,234	8,021	8,597	9,929	10,923	11,245	10,959
11207	0,262	1,566	2,851	4,091	5,260	6,312	7,219	8,013	8,595	9,944	10,933	11,248	10,953
11552	0,260	1,559	2,836	4,068	5,233	6,290	7,205	8,007	8,594	9,959	10,942	11,250	10,945
11897	0,259	1,553	2,822	4,047	5,208	6,268	7,191	8,001	8,593	9,972	10,949	11,249	10,937
12241	0,259	1,548	2,809	4,026	5,184	6,248	7,178	7,996	8,593	9,984	10,955	11,247	10,929
12586	0,258	1,543	2,797	4,007	5,161	6,228	7,165	7,991	8,594	9,995	10,961	11,244	10,920
12931	0,257	1,538	2,785	3,989	5,140	6,208	7,154	7,987	8,595	10,005	10,965	11,239	10,911
13276	0,257	1,534	2,774	3,972	5,119	6,190	7,142	7,983	8,597	10,015	10,967	11,233	10,901
13621	0,257	1,529	2,763	3,956	5,100	6,172	7,131	7,980	8,599	10,024	10,969	11,226	10,891
13966	0,257	1,525	2,753	3,940	5,081	6,154	7,121	7,977	8,602	10,033	10,969	11,218	10,880
14310	0,257	1,520	2,742	3,925	5,063	6,137	7,111	7,974	8,605	10,041	10,968	11,208	10,870
14655	0,255	1,514	2,732	3,910	5,046	6,121	7,100	7,971	8,608	10,050	10,965	11,197	10,859
15000	0,254	1,508	2,722	3,895	5,029	6,105	7,090	7,968	8,611	10,057	10,960	11,185	10,847





4. TABLA Y PLANO DE CAPACIDADES

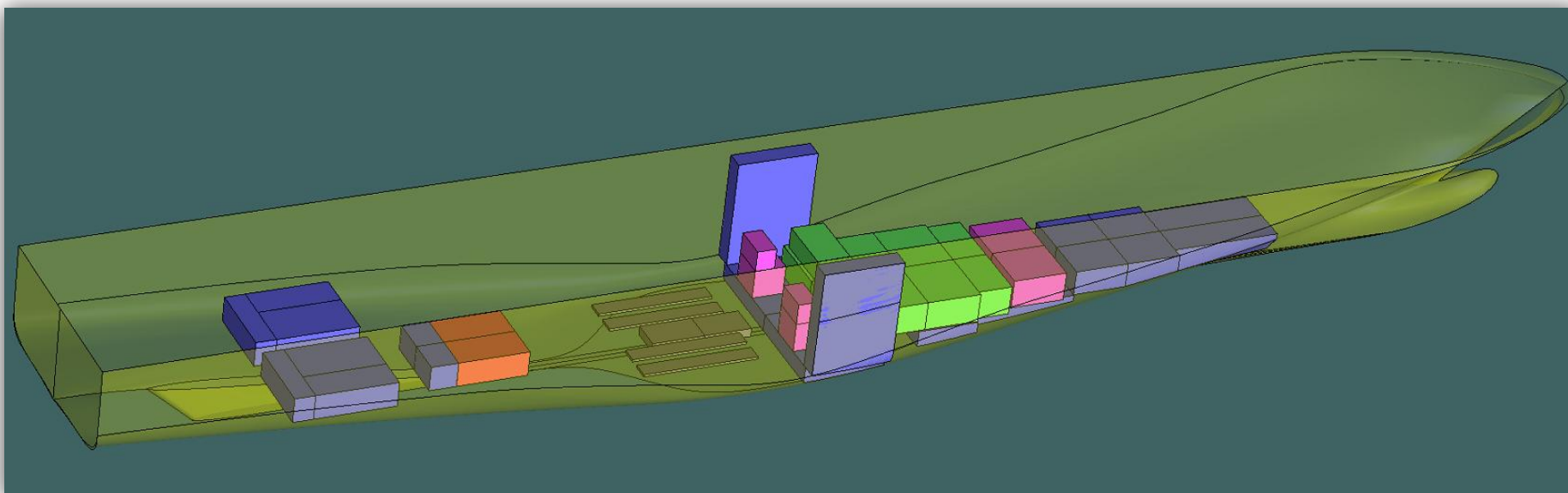
Una vez dimensionados todos los tanques necesarios, los cuales, se puede apreciar en los planos de disposición general, tenemos que comprobar que su situación dentro del buque es la más idónea. Para poder verificar que la situación de los tanques es correcta, deberemos saber el centro de gravedad de cada tanque, para poder llevar a cabo las diferentes situaciones de carga preliminares con el programa Hidromax, obteniendo dicha tabla;

Tipo de tanque	Capacidad	XG	YG	KG
HFO_Alm1	154	89,60	-3,65	2,18
HFO_Alm2	154	89,60	3,65	2,18
HFO_Alm3	154	96,00	-3,65	2,18
HFO_Alm4	154	96,00	3,65	2,18
HFO_Alm5	91	101,22	-3,40	2,18
HFO_Alm6	91	101,22	3,40	2,18
HFO_Sed1	109	84,20	-3,74	2,18
HFO_Sed2	109	84,20	3,74	2,18
HFO_UD1	66	84,43	-3,52	5,63
HFO_UD2	66	84,43	3,52	5,63
MDF_Alm1	109	107,20	-2,91	2,18
MDF_Alm2	109	107,20	2,91	2,18
MDF_Sed1	44	78,65	-5,48	2,18
MDF_Sed2	44	78,65	5,48	2,18
MDF_UD1	19	77,95	-5,48	5,63
MDF_UD2	19	77,95	5,48	5,63
Aceite_Ret1	10	66,00	-6,20	1,65
Aceite_Ret2	10	66,00	-3,15	1,65
Aceite_Ret3	10	66,00	3,15	1,65
Aceite_Ret4	10	66,00	6,20	1,65
Aceite_Alm	40	65,70	0,00	1,28
Aceite_Sucio	40	71,60	0,00	1,28
Agua dulce1	105	42,58	-2,10	3,51
Agua dulce1	105	42,58	2,10	3,51
Antiheeling1	272	81,59	-11,43	5,28
Antiheeling2	272	81,59	11,43	5,28



Por otra parte, también necesitaremos saber los centros de gravedad de los tanques de lastre, los cuales son;

Tanques de lastre	Capacidad	XG	YG	KG
BW_1	211,096	81,579	-5,367	1,012
BW_2	211,096	81,579	5,367	1,012
BW_3	108,846	95,57	-3,697	1,021
BW_4	108,846	95,57	3,697	1,021
BW_5	131,648	105,418	-2,548	1,05
BW_6	131,648	105,418	2,548	1,05
BW_7	146,833	131,005	-1,887	3,563
BW_8	146,833	131,005	1,887	3,563
BW_9	100,897	121,578	-2,568	3,523
BW_10	100,897	121,578	2,568	3,523
BW_11	41,426	36,8	-2,105	3,505
BW_12	41,426	36,8	2,105	3,505
BW_13	67,748	18	-5,58	6,505
BW_14	67,748	18	5,58	6,505
BW_15	109,519	24	-8,315	6,505
BW_16	161,475	24	-3,725	6,505
BW_17	161,475	24	3,725	6,505
BW_18	109,519	24	8,315	6,505
BW_19	102,336	115,2	-2,6	3,505
BW_20	102,336	115,2	2,6	3,505



Disposición de tanques en 3D (Hidromax).



5. SITUACIONES DE CARGA PRELIMINARES

Una vez obtenidos todos los centros de gravedad de los tanques del buque, juntamente con otros pesos que obtuvimos en el cuaderno del dimensionamiento, los cuales hemos recogido en una tabla, tenemos todos los datos necesarios para proceder a estudiar las diferentes situaciones de carga.

Tipo de peso	masa (Kg)	XG(m)	YG(m)	KG(m)
Pasajeros	100	86,17	0,00	22,57
Tripulación	4	86,17	0,00	25,52
Víveres	30	83,70	0,00	20,27
Cargos y pertrechos	20	92,68	0,00	22,76
Carga cubierta principal	1347,25	65,80	0,00	12,57
Carga cubierta superior	425,25	75,00	0,00	17,50
Elementos sueltos	30	80,00	0,00	14,42
Peso en rosca del buque	10282	75,85	0,00	11,53

Hemos tenido en cuenta cuatro situaciones de carga generales, para las cuales, mediante el programa Hidromax, se ha hallado el comportamiento del buque. Estas situaciones de carga son;

- **Plena carga_Saliendo de puerto.** Situación normal de carga, en la cual, se cuenta con todos los pasajeros, los garajes de carga llenos y los tanques de lastre vacíos.
- **Plena carga_Llegando a puerto.** Situación normal de carga, en la cual al igual que la anterior, se cuenta con todos los pasajeros, los garajes de carga llenos, pero solo con un 10% de llenado de los tanque de HFO y MDF, por ello, para compensar el desplazamiento del centro de gravedad se han ido lastrando progresivamente los tanques de lastre (BW_1,BW_2,BW_3,BW_4,BW_7,BW_8,BW_9,BW_10,BW_11, BW_12,BW_13,BW_14).
- **Sin carga_Saliendo de puerto.** Situación atípica de carga, en la cual, se cuenta con todos los pasajeros, pero con los garajes de carga vacíos y los tanques de HFO y MDF llenos, por ello, para compensar el desplazamiento del centro de gravedad, se han lastrado todos los tanques de lastre exceptuando los (BW_1,BW_2,BW_19,BW_20).
- **Sin carga_Llegando de puerto.** Situación atípica de carga, en la cual, se cuenta con todos los pasajeros, pero con los garajes de carga vacíos y solo con un 10% de llenado de los tanque de HFO y MDF, por ello, para compensar el desplazamiento del centro de gravedad, se han lastrado todos los tanques de lastre existentes a bordo.

**Plena carga Saliendo de puerto**

Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m
Pax	1	100,000	100,000	86,170	0,000	22,500
Trip	1	4,000	4,000	86,170	0,000	25,450
Viveres	1	30,000	30,000	83,700	0,000	20,200
Cargos y pertrechos	1	20,000	20,000	92,680	0,000	22,690
Carga cubierta principal	1	1347,250	1347,250	65,800	0,000	12,500
Carga cubierta superior	1	425,250	425,250	75,000	0,000	17,430
Elementos sueltos est	1	30,000	30,000	80,000	0,000	14,350
Lightship	1	10282,000	10282,000	75,850	0,000	11,460
HFO_Alm1	100%	154,190	154,190	89,600	-3,645	3,755
HFO_Alm2	100%	154,200	154,200	89,600	3,645	3,755
HFO_Alm3	100%	154,200	154,200	96,000	-3,645	3,755
HFO_Alm4	100%	154,200	154,200	96,000	3,645	3,755
HFO_Sed1	100%	108,776	108,776	84,200	-3,740	3,755
HFO_Sed2	100%	108,776	108,776	84,200	3,740	3,755
HFO_UD1	100%	65,648	65,648	84,425	-3,520	6,755
HFO_UD2	100%	65,648	65,648	84,425	3,520	6,755
HFO_Alm5	100%	90,572	90,572	101,215	-3,400	3,755
HFO_Alm6	100%	90,572	90,572	101,215	3,400	3,755
MDF_Alm1	100%	109,321	109,321	107,200	-2,905	3,755
MDF_Alm2	100%	109,321	109,321	107,200	2,905	3,755
MDF_Sed1	100%	43,512	43,512	78,650	-5,480	3,755
MDF_Sed2	100%	43,512	43,512	78,650	5,480	3,755
MDF_UD1	100%	19,320	19,320	77,950	-5,480	6,755
MDF_UD2	100%	19,320	19,320	77,950	5,480	6,755
Aceite_Ret1	100%	7,244	7,244	66,000	-6,195	1,650
Aceite_Ret2	100%	7,244	7,244	66,000	-3,145	1,650
Aceite_Ret3	100%	7,244	7,244	66,000	3,145	1,650
Aceite_Ret4	100%	7,244	7,244	66,000	6,195	1,650
Aceite_Alm	100%	21,356	21,356	65,700	0,000	1,280
Aceite_Sucio	100%	19,289	19,289	71,600	0,000	1,280
Agua dulce1	100%	105,210	105,210	42,575	-2,100	3,505
Agua dulce1	100%	105,210	105,210	42,575	2,100	3,505
Antiheeling1	50%	272,269	136,135	81,588	-11,427	5,275
Antiheeling2	50%	272,269	136,135	81,588	11,427	5,275
BW_1	0%	211,096	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_2	0%	211,096	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_3	0%	108,846	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_4	0%	108,846	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_5	0%	131,648	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_6	0%	131,648	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_7	0%	146,833	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_8	0%	146,833	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_9	0%	100,897	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_10	0%	100,897	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_11	0%	41,426	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_12	0%	41,426	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_13	0%	67,748	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_14	0%	67,748	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_15	0%	109,519	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_16	0%	161,475	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_17	0%	161,475	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_19	0%	102,336	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_20	0%	102,336	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_18	0%	109,519	0,000	0,000	0,000	0,000
Total Loadcase			14281,899	76,341	0,000	10,805

**Plena carga Llegando a puerto**

Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m
Pax	1	100,000	100,000	86,170	0,000	22,500
Trip	1	4,000	4,000	86,170	0,000	25,450
Viveres	1	30,000	30,000	83,700	0,000	20,200
Cargos y pertrechos	1	20,000	20,000	92,680	0,000	22,690
Carga cubierta principal	1	1347,250	1347,250	65,800	0,000	12,500
Carga cubierta superior	1	425,250	425,250	75,000	0,000	17,430
Elementos sueltos est	1	30,000	30,000	80,000	0,000	14,350
Lightship	1	10282,000	10282,000	75,850	0,000	11,460
HFO_Alm1	10%	154,190	15,419	89,600	-3,645	2,180
HFO_Alm2	10%	154,200	15,420	89,600	3,645	2,180
HFO_Alm3	10%	154,200	15,420	96,000	-3,645	2,180
HFO_Alm4	10%	154,200	15,420	96,000	3,645	2,180
HFO_Alm5	10%	90,572	9,057	101,215	-3,400	2,180
HFO_Alm6	10%	90,572	9,057	101,215	3,400	2,180
HFO_Sed1	10%	108,776	10,878	84,200	-3,740	2,180
HFO_Sed2	10%	108,776	10,878	84,200	3,740	2,180
HFO_UD1	10%	65,648	6,565	84,425	-3,520	5,630
HFO_UD2	10%	65,648	6,565	84,425	3,520	5,630
MDF_Alm1	10%	109,321	10,932	107,200	-2,905	2,180
MDF_Alm2	10%	109,321	10,932	107,200	2,905	2,180
MDF_Sed1	10%	43,512	4,351	78,650	-5,480	2,180
MDF_Sed2	10%	43,512	4,351	78,650	5,480	2,180
MDF_UD1	10%	19,320	1,932	77,950	-5,480	5,630
MDF_UD2	10%	19,320	1,932	77,950	5,480	5,630
Aceite_Ret1	100%	7,244	7,244	66,000	-6,195	1,650
Aceite_Ret2	100%	7,244	7,244	66,000	-3,145	1,650
Aceite_Ret3	100%	7,244	7,244	66,000	3,145	1,650
Aceite_Ret4	100%	7,244	7,244	66,000	6,195	1,650
Aceite_Alm	100%	21,356	21,356	65,700	0,000	1,280
Aceite_Sucio	100%	19,289	19,289	71,600	0,000	1,280
Agua dulce1	100%	105,210	105,210	42,575	-2,100	3,505
Agua dulce1	100%	105,210	105,210	42,575	2,100	3,505
Antiheeling1	50%	272,269	136,135	81,588	11,427	5,275
Antiheeling2	50%	272,269	136,135	81,588	11,427	5,275
BW_1	100%	211,096	211,096	81,579	-5,367	1,012
BW_2	100%	211,096	211,096	81,579	5,367	1,012
BW_3	100%	108,846	108,846	95,570	-3,697	1,021
BW_4	100%	108,846	108,846	95,570	3,697	1,021
BW_5	0%	131,648	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_6	0%	131,648	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_7	100%	146,833	146,833	131,005	-1,887	3,563
BW_8	100%	146,833	146,833	131,005	1,887	3,563
BW_9	100%	100,897	100,897	121,578	-2,568	3,523
BW_10	100%	100,897	100,897	121,578	2,568	3,523
BW_11	100%	41,426	41,426	36,800	-2,105	3,505
BW_12	100%	41,426	41,426	36,800	2,105	3,505
BW_13	100%	67,748	67,748	18,000	-5,580	6,505
BW_14	100%	67,748	67,748	18,000	5,580	6,505
BW_15	0%	109,519	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_16	0%	161,475	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_17	0%	161,475	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_19	0%	102,336	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_20	0%	102,336	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_18	0%	109,519	0,000	0,000	0,000	0,000
Total Loadcase			14293,614	76,229	0,000	10,645

Sin carga Saliendo de puerto

Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m
Pax	1	100,000	100,000	86,170	0,000	22,500
Trip	1	4,000	4,000	86,170	0,000	25,450
Viveres	1	30,000	30,000	83,700	0,000	20,200
Cargos y pertrechos	1	20,000	20,000	92,680	0,000	22,690
Carga cubierta principal	0	1347,250	0,000	65,800	0,000	12,500
Carga cubierta superior	0	425,250	0,000	75,000	0,000	17,430
Elementos sueltos est	1	30,000	30,000	80,000	0,000	14,350
Lightship	1	10282,000	10282,000	75,850	0,000	11,460
HFO_Alm1	100%	154,190	154,190	89,600	-3,645	3,755
HFO_Alm2	100%	154,200	154,200	89,600	3,645	3,755
HFO_Alm3	100%	154,200	154,200	96,000	-3,645	3,755
HFO_Alm4	100%	154,200	154,200	96,000	3,645	3,755
HFO_Alm5	100%	90,572	90,572	101,215	-3,400	3,755
HFO_Alm6	100%	90,572	90,572	101,215	3,400	3,755
HFO_Sed1	100%	108,776	108,776	84,200	-3,740	3,755
HFO_Sed2	100%	108,776	108,776	84,200	3,740	3,755
HFO_UD1	100%	65,648	65,648	84,425	-3,520	6,755
HFO_UD2	100%	65,648	65,648	84,425	3,520	6,755
MDF_Alm1	100%	109,321	109,321	107,200	-2,905	3,755
MDF_Alm2	100%	109,321	109,321	107,200	2,905	3,755
MDF_Sed1	100%	43,512	43,512	78,650	-5,480	3,755
MDF_Sed2	100%	43,512	43,512	78,650	5,480	3,755
MDF_UD1	100%	19,320	19,320	77,950	-5,480	6,755
MDF_UD2	100%	19,320	19,320	77,950	5,480	6,755
Aceite_Ret1	100%	7,244	7,244	66,000	-6,195	1,650
Aceite_Ret2	100%	7,244	7,244	66,000	-3,145	1,650
Aceite_Ret3	100%	7,244	7,244	66,000	3,145	1,650
Aceite_Ret4	100%	7,244	7,244	66,000	6,195	1,650
Aceite_Alm	100%	21,356	21,356	65,700	0,000	1,280
Aceite_Sucio	100%	19,289	19,289	71,600	0,000	1,280
Agua dulce1	100%	105,210	105,210	42,575	-2,100	3,505
Agua dulce1	100%	105,210	105,210	42,575	2,100	3,505
Antiheeling1	50%	272,269	136,135	81,588	-11,427	5,275
Antiheeling2	50%	272,269	136,135	81,588	11,427	5,275
BW_1	100%	211,096	211,096	81,579	-5,367	1,012
BW_2	100%	211,096	211,096	81,579	5,367	1,012
BW_3	100%	108,846	108,846	95,570	-3,697	1,021
BW_4	100%	108,846	108,846	95,570	3,697	1,021
BW_5	100%	131,648	131,648	105,418	-2,548	1,050
BW_6	100%	131,648	131,648	105,418	2,548	1,050
BW_7	0%	146,833	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_8	0%	146,833	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_9	100%	100,897	100,897	121,578	-2,568	3,523
BW_10	100%	100,897	100,897	121,578	2,568	3,523
BW_11	0%	41,426	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_12	0%	41,426	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_13	100%	67,748	67,748	18,000	-5,580	6,505
BW_14	100%	67,748	67,748	18,000	5,580	6,505
BW_15	100%	109,519	109,519	24,000	-8,315	6,505
BW_16	100%	161,475	161,475	24,000	-3,725	6,505
BW_17	100%	161,475	161,475	24,000	3,725	6,505
BW_19	0%	102,336	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_20	0%	102,336	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_18	100%	109,519	109,519	24,000	8,315	6,505
Total Loadcase			14291,859	76,459	0,000	9,523

**Sin carga Llegando de puerto**

Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m
Pax	1	100,000	100,000	86,170	0,000	22,500
Trip	1	4,000	4,000	86,170	0,000	25,450
Viveres	1	30,000	30,000	83,700	0,000	20,200
Cargos y pertrechos	1	20,000	20,000	92,680	0,000	22,690
Carga cubierta principal	0	1347,250	0,000	65,800	0,000	12,500
Carga cubierta superior	0	425,250	0,000	75,000	0,000	17,430
Elementos sueltos est	1	30,000	30,000	80,000	0,000	14,350
Lightship	1	10282,000	10282,000	75,850	0,000	11,460
HFO_Alm1	10%	154,190	15,419	89,600	-3,645	2,180
HFO_Alm2	10%	154,200	15,420	89,600	3,645	2,180
HFO_Alm3	10%	154,200	15,420	96,000	-3,645	2,180
HFO_Alm4	10%	154,200	15,420	96,000	3,645	2,180
HFO_Alm5	10%	90,572	9,057	101,215	-3,400	2,180
HFO_Alm6	10%	90,572	9,057	101,215	3,400	2,180
HFO_Sed1	10%	108,776	10,878	84,200	-3,740	2,180
HFO_Sed2	10%	108,776	10,878	84,200	3,740	2,180
HFO_UD1	10%	65,648	6,565	84,425	-3,520	5,630
HFO_UD2	10%	65,648	6,565	84,425	3,520	5,630
MDF_Alm1	10%	109,321	10,932	107,200	-2,905	2,180
MDF_Alm2	10%	109,321	10,932	107,200	2,905	2,180
MDF_Sed1	10%	43,512	4,351	78,650	-5,480	2,180
MDF_Sed2	10%	43,512	4,351	78,650	5,480	2,180
MDF_UD1	10%	19,320	1,932	77,950	-5,480	5,630
MDF_UD2	10%	19,320	1,932	77,950	5,480	5,630
Aceite_Ret1	100%	7,244	7,244	66,000	-6,195	1,650
Aceite_Ret2	100%	7,244	7,244	66,000	-3,145	1,650
Aceite_Ret3	100%	7,244	7,244	66,000	3,145	1,650
Aceite_Ret4	100%	7,244	7,244	66,000	6,195	1,650
Aceite_Alm	100%	21,356	21,356	65,700	0,000	1,280
Aceite_Sucio	100%	19,289	19,289	71,600	0,000	1,280
Agua dulce1	100%	105,210	105,210	42,575	-2,100	3,505
Agua dulce1	100%	105,210	105,210	42,575	2,100	3,505
Antiheeling1	50%	272,269	136,135	81,588	-11,427	5,275
Antiheeling2	50%	272,269	136,135	81,588	11,427	5,275
BW_1	100%	211,096	211,096	81,579	-5,367	1,012
BW_2	100%	211,096	211,096	81,579	5,367	1,012
BW_3	100%	108,846	108,846	95,570	-3,697	1,021
BW_4	100%	108,846	108,846	95,570	3,697	1,021
BW_5	100%	131,648	131,648	105,418	-2,548	1,050
BW_6	100%	131,648	131,648	105,418	2,548	1,050
BW_7	100%	146,833	146,833	131,005	-1,887	3,563
BW_8	100%	146,833	146,833	131,005	1,887	3,563
BW_9	100%	100,897	100,897	121,578	-2,568	3,523
BW_10	100%	100,897	100,897	121,578	2,568	3,523
BW_11	100%	41,426	41,426	36,800	-2,105	3,505
BW_12	100%	41,426	41,426	36,800	2,105	3,505
BW_13	0%	67,748	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_14	0%	67,748	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_15	100%	109,519	109,519	24,000	-8,315	6,505
BW_16	100%	161,475	161,475	24,000	-3,725	6,505
BW_17	100%	161,475	161,475	24,000	3,725	6,505
BW_19	100%	102,336	102,336	115,200	-2,600	3,505
BW_20	100%	102,336	102,336	115,200	2,600	3,505
BW_18	100%	109,519	109,519	24,000	8,315	6,505
Total Loadcase			13395,574	76,962	0,000	9,820



Displacement t	14282
Draft at FP m	5,985
Draft at AP m	6,029
Draft at LCF m	6,003
Trim (+ve by stern) m	0,044
WL Length m	173,774
Beam max extents on WL m	24,996
Wetted Area m ²	4655,61
Waterpl. Area m ²	3456,51
Prismatic coeff. (Cp)	0,54
Block coeff. (Cb)	0,53
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,987
LCB from zero pt. (+ve aft) m	-76,343
LCF from zero pt. (+ve aft) m	-66,762
KB m	3,467
KG fluid m	10,806
BMt m	11,167
BML m	432,848
GMt corrected m	3,829
GML m	425,509
KMt m	14,634
KML m	436,315
Immersion (TPc) tonne/cm	35,429
MTc tonne.m	-379,817
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	954,284
Max deck inclination deg	0,0158

Displacement t	14294
Draft at FP m	6,004
Draft at AP m	6,01
Draft at LCF m	6,007
Trim (+ve by stern) m	0,005
WL Length m	173,794
Beam max extents on WL m	24,996
Wetted Area m ²	4657,08
Waterpl. Area m ²	3458,67
Prismatic coeff. (Cp)	0,54
Block coeff. (Cb)	0,53
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,987
LCB from zero pt. (+ve aft) m	-76,23
LCF from zero pt. (+ve aft) m	-66,7
KB m	3,469
KG fluid m	10,767
BMt m	11,174
BML m	433,35
GMt corrected m	3,876
GML m	426,052
KMt m	14,643
KML m	436,819
Immersion (TPc) tonne/cm	35,451
MTc tonne.m	-380,614
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	967,021
Max deck inclination deg	0,0018

Displacement t	14292
Draft at FP m	5,968
Draft at AP m	6,059
Draft at LCF m	6,006
Trim (+ve by stern) m	0,091
WL Length m	173,741
Beam max extents on WL m	24,996
Wetted Area m ²	4657,75
Waterpl. Area m ²	3454,68
Prismatic coeff. (Cp)	0,54
Block coeff. (Cb)	0,53
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,987
LCB from zero pt. (+ve aft) m	-76,462
LCF from zero pt. (+ve aft) m	-66,815
KB m	3,469
KG fluid m	9,524
BMt m	11,15
BML m	431,514
GMt corrected m	5,095
GML m	425,458
KMt m	14,619
KML m	434,982
Immersion (TPc) tonne/cm	35,411
MTc tonne.m	-380,037
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	1270,74
Max deck inclination deg	0,0325

Displacement t	13396
Draft at FP m	5,725
Draft at AP m	5,783
Draft at LCF m	5,75
Trim (+ve by stern) m	0,058
WL Length m	173,96
Beam max extents on WL m	24,996
Wetted Area m ²	4460,74
Waterpl. Area m ²	3334,38
Prismatic coeff. (Cp)	0,54
Block coeff. (Cb)	0,53
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,987
LCB from zero pt. (+ve aft) m	-76,965
LCF from zero pt. (+ve aft) m	-68,531
KB m	3,307
KG fluid m	9,95
BMt m	11,346
BML m	420,219
GMt corrected m	4,703
GML m	413,577
KMt m	14,653
KML m	423,526
Immersion (TPc) tonne/cm	34,177
MTc tonne.m	-346,256
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	1099,6
Max deck inclination deg	0,0207



6. ESLORAS INUNDABLES

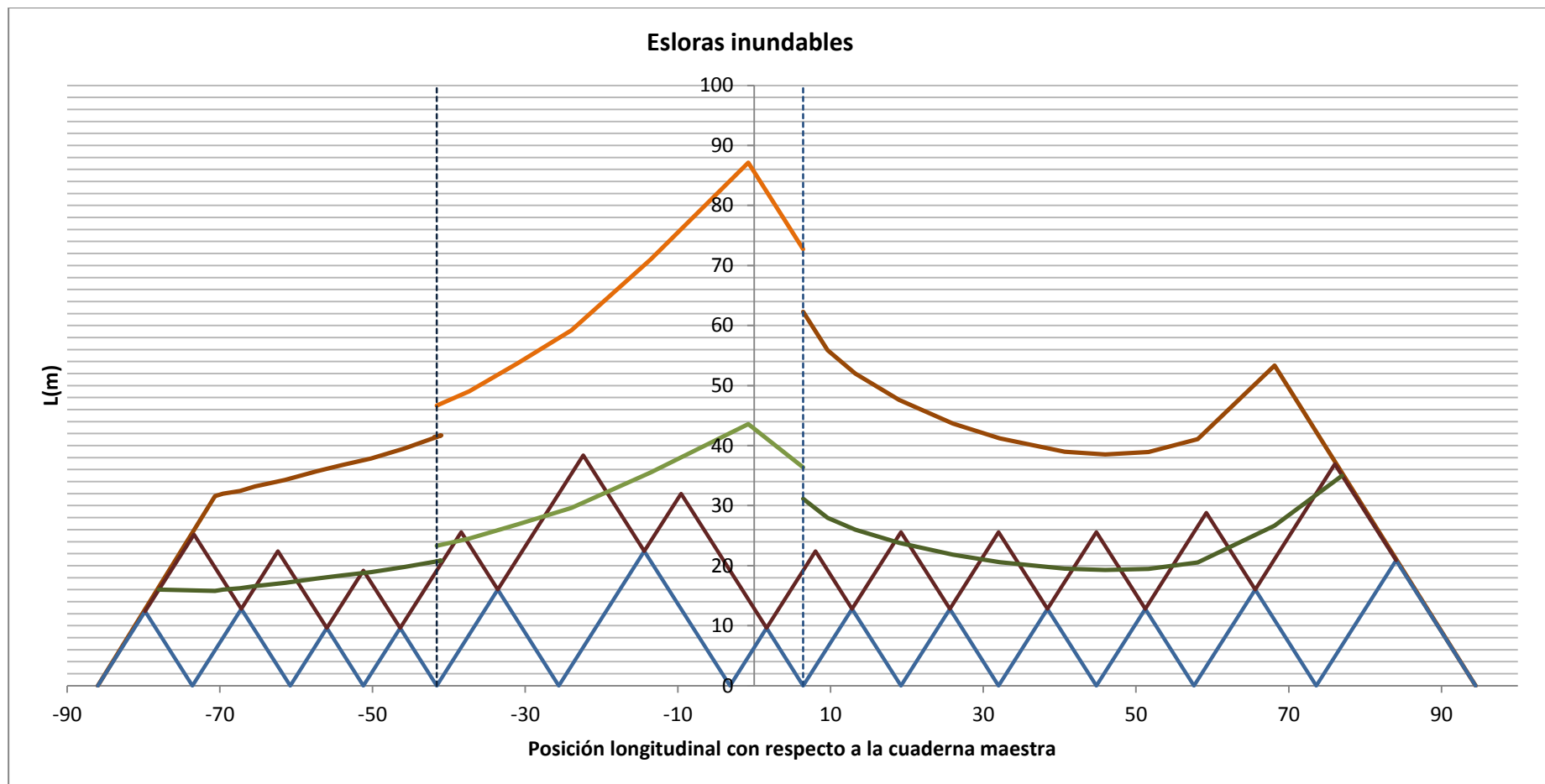
La curva de esloras inundables depende directamente del compartimentado de nuestro buque, el cual, se calculó en el cuaderno anterior. Dichos compartimentos estancos están separados por los siguientes mamparos;

Situación mamparos transversales estancos			
Nº cuaderna	Nº bulárcama	Dist. Desde P.Popa (m)	Tipo
8	2	6,40	Rasel de popa
24	6	19,20	
36	9	28,80	
48	12	38,40	C.I.
68	17	54,40	
96	24	76,80	
108	27	86,40	C.I.
124	31	99,20	
140	35	112,00	
156	39	124,80	C.I.
172	43	137,60	
192	48	153,60	
			Pique de proa y C.I.

El SOLAS define la eslora inundable en un punto dado como aquella máxima porción de la eslora del barco que, teniendo su centro en el punto en cuestión, puede ser inundada sin que se sumerja la línea margen del buque, la cual está situada 76mm por debajo de la intersección con el costado de la cubierta de compartimentado.

Las ordenadas de la curva representan la distancia que debe existir entre dos mamparos transversales estancos que, para un calado determinado, provoque que la flotación resultante después de avería sea tangente a la línea de margen. En nuestro caso, el calado considerado es 6,0m, al que le corresponde un desplazamiento de 14.282 ton.

Para determinar el factor de subdivisión a considerar se ha atendido a las normativas anteriores al año 2009, que establecían que para un buque de pasaje de carga rodada que fuera a transportar al menos a 400 personas, el buque debía resistir la inundación de dos compartimentos adyacentes, en el caso de que la longitud de ningún compartimento fuera, en eslora, inferior a la longitud de avería ($3\% + 3\text{m} = 6.646\text{m}$). Ello supone que el factor sea igual a 0.5. Por tanto, la curva de esloras permisibles se obtiene multiplicando la de inundables por este valor.





7. FRANCOBORDO

Se denomina Francobordo a la distancia medida verticalmente hacia abajo, en el centro del buque, desde el canto alto de la línea de cubierta hasta el canto alto de la línea de carga correspondiente. El francobordo se asigna de conformidad al Convenio Internacional sobre Líneas de Carga de 1966.

La asignación del francobordo mínimo pretende lo siguiente:

- Que el buque disponga de una estructura adecuada, con suficiente resistencia para soportar todos los viajes posibles.
- Que su estabilidad sea la conveniente para todos los servicios que deba prestar.
- Que el buque posea un casco completamente estanco al agua desde la quilla hasta la cubierta de francobordo y estanco a las condiciones meteorológicas desde dicha cubierta hacia arriba.
- Que posea una cubierta de trabajo suficientemente alta respecto de la superficie de la mar que permita moverse por ella, estando a la intemperie, con cualquier estado de la mar.
- Que posea suficiente reserva de flotabilidad, volumen sobre línea de flotación, para que no se vea en peligro de sumergirse o irse a pique con mala mar.

El francobordo de un buque se va a intentar reducir de modo que satisfaga las condiciones anteriores, lo que va a permitir alojar más carga, siendo más rentable para su armador.

7.1. Valores utilizados en el cálculo del francobordo

Se han considerado los siguientes valores en el cálculo del francobordo:

- Cubierta de francobordo. Aplicando la regla 3.9 del Convenio, se toma la cubierta principal como cubierta de francobordo. Está cubierta tiene su canto superior a 9000mm sobre la línea de base.
- Espesor de quilla: 15mm.
- Espesor de la cubierta de francobordo: 15mm.
- Puntal mínimo de trazado: Regla 3.5: 9000mm.
- Puntal de francobordo: Sumamos al puntal mínimo de trazado el espesor de la cubierta de francobordo, es decir, 15mm, resultando un valor de 9015mm
- Eslora de francobordo: según la regla 3.1, debemos considerar el mayor de los siguientes valores:
 - 96% de la eslora total en la flotación al 85% del puntal mínimo de trazado: 161835mm.
 - Eslora desde la cara de proa de la roda hasta la mecha del timón en la flotación anterior: 162148mm.

Por tanto la eslora que consideraremos es 162148mm.



- Manga, B. Aplicando la Regla 3.4, toma un valor de $B = 25,02$ m (se considera un espesor del forro de 10mm).
- Coeficiente de bloque, Cb. Según la Regla 3.7, para el cálculo de Cb se debe tomar un desplazamiento que corresponda a un calado de trazado igual al 85% del puntal de trazado, obteniéndose un valor de $C_b = 0,61$.

7.2. Francobordo tabular

La Regla 27 del Convenio diferencia entre Buques de Tipo A y Buques de Tipo B dependiendo, básicamente, de si transportan carga líquida a granel o no. Dado que en nuestro caso esto no sucede, nuestro buque pertenece al tipo B. Haciendo uso de la tabla correspondiente, que podemos encontrar en la Regla 28, obtenemos un valor tabular del Francobordo de **2520mm**.

7.3. Correcciones

7.3.1. Corrección por eslora (Regla 29)

Nuestra eslora es mayor de 100m, luego no corresponde corrección alguna.

7.3.2. Corrección por coeficiente de bloque (Regla 30)

Nuestro coeficiente de bloque es menor que 0,68, luego no deberemos realizar ninguna corrección por coeficiente de bloque.

7.3.3. Corrección por puntal (Regla 31)

El primer párrafo de esta regla exige aumentar el Francobordo cuando el puntal de francobordo D es mayor que $L/15$, pero al ser inferior no se necesita realizar ninguna corrección por puntal.

7.3.4. Corrección por superestructuras

Dado que el espacio entre la cubierta de francobordo (cubierta principal) y la cubierta superior constituye una superestructura cerrada de eslora y manga iguales a L y B, respectivamente, y altura $h=6100$ mm, valor mayor que la correspondiente altura normal (definida por la Regla 33 e igual a 2300mm), se debe aplicar la Regla 27. Según ella, al disponer de superestructura de longitud efectiva igual a la eslora L, corresponde una reducción del francobordo de 1070mm.



7.3.5. Corrección por arrufo (Regla 38)

La Regla 38 obliga a realizar una corrección por arrufo tras comparar las líneas de arrufo normal y real. En el caso del buque proyecto, el arrufo real es constante e igual a cero, pues así se deduce considerando los apartados 1 y 3 de dicha regla. Sin embargo, dado que nuestro buque cuenta con una superestructura que se extiende sobre toda la longitud de las cubiertas de francobordo y cuya altura es superior a la normal, debemos añadir a nuestra curva de arrufo real lo siguiente: Z en los extremos y $0,444 \cdot Z$ y $0,111 \cdot Z$ a unas distancias de las perpendiculares de $1/6 L$ y $1/3 L$.

Por su parte, las ordenadas en esos puntos de la curva de arrufo normal se obtendrán a partir de las siguientes expresiones:

Situación	Ordenada (mm)	Arrufo real (mm)	Arrufo real añadido (mm)	Arrufo normal (mm)
Ppp	$25(L/3+10)$	0	3800	1601
1/6 L desde Ppp	$11,1(L/3+10)$	0	1687,2	711
1/3 L desde Ppp	$2,8(L/3+10)$	0	421,8	179
Centro	0	0	0	0
1/3 L desde Ppr	$5,6(L/3+10)$	0	421,8	359
1/6 L desde Ppr	$22,2(L/3+10)$	0	1687,2	1422
Ppr	$50(L/3+10)$	0	3800	3202

El apartado 9 define cómo ponderar las diferencias entre los arrufos real y normal. Debemos multiplicar los valores de ambas curvas por 1 ó 3 dependiendo de la posición: Por 1 en el caso de los extremos, y por 3 para distancias de las perpendiculares de $1/6 L$ y $1/3 L$. Finalmente, se dividirá la suma de los productos entre 8. Como resultado se obtienen unos valores diferentes de exceso de arrufo para las mitades de proa y popa. La media de estos dos valores nos define el exceso de arrufo medio, el cual habrá que multiplicar por el factor $0,75 - S/2L$ (donde $S = L$, dado que la superestructura se extiende a lo largo de toda la eslora) para obtener la corrección al francobordo correspondiente.

Exceso arrufo Popa (mm)	Exceso arrufo Proa (mm)	Media Exceso arrufo (mm)	Corrección por exceso de arrufo (mm)
732	198	267	67

Además, en aplicación de la apartado 15 de la misma regla, la corrección será negativa.

7.3.6. Corrección por espesor de cubierta

Para poder referir el francobordo al canto alto de la cubierta de francobordo, tenemos que sumar le el espesor de la cubierta principal, que previamente ya definimos como 15mm.



7.3.7. Corrección por altura mínima de la proa

La altura de proa (F_b), definida como la distancia vertical en la perpendicular de proa entre la línea de flotación correspondiente al francobordo de verano asignado y al asiento proyectado y la parte superior de la cubierta de intemperie en el costado, no será inferior a:

$$F_b = (6075(L/100) - 1875(L/100)^2 + 200(L/100)^3) \times (2,08 + 0,609C_b - 1,603C_{wf} - 0,0129(L/di))$$

Siendo:

F_b la altura mínima de proa calculada, en mm;

L la eslora definida en la regla 3, en m;

B la manga de trazado definida en la regla 3, en m;

di el calado en el 85% del puntal mínimo de trazado, en m;

C_b el coeficiente de bloque definido en la regla 3;

C_{wf} el coeficiente del área de la flotación a proa de L/2: $C_{wf} = A_{wf} / \{(L/2) \times B\}$; y

A_{wf} el área de la flotación a proa de L/2 para el calado di, en m².

Altura mínima de la proa $F_b = 5509\text{mm}$

A continuación calculamos la altura real de la proa. Para ello necesitaremos obtener el francobordo de verano, el arrufo de la cubierta de francobordo en la perpendicular de proa y la altura del castillo de proa.

- Francobordo de verano = 2602mm
- Arrufo de la cubierta de francobordo en la perpendicular de proa = 0mm
- Altura del castillo de proa = 6100mm

Altura real de la proa = 8702mm

Dado que la altura real es superior a la mínima requerida, no se aplica ninguna corrección.



Además, debemos tener en cuenta el punto 5 de la Regla 39, que obliga a disponer de una reserva de flotabilidad en el extremo de proa. Según esta regla, dentro de una longitud igual a $0,15 \cdot L$ medida desde la perpendicular de proa, la suma del área proyectada entre la flotación en verano y la cubierta de francobordo o la silueta de la superestructura, debe ser mayor o igual que:

$$(0,15F_{\min} + 4 (L/3+10))L/1000 \text{ m}^2$$

Siendo;

- $F_{\min} = (F_o \times f_1) + f_2$
 - F_o francobordo tabular, en mm, obtenido de la tabla 28.2, corregido con arreglo a las reglas 27 9) o 27 10), según sea el caso.
 - f_1 corrección por coeficiente de bloque indicada en la regla 30.
 - f_2 corrección por puntal, en mm, indicada en la regla 31.
- Valor mínimo del área proyectada (m^2) = 329,23
 - Valor real del área proyectada (m^2) = 342,94

El valor real del área proyectada es mayor que el requerido, luego disponemos de la reserva de flotabilidad necesaria.

7.3.8. Francobordo geométrico resultante

Francobordo tabular (mm)	2520
Corrección por eslora (mm)	-
Corrección por coeficiente de bloque	-
Corrección por puntal (mm)	-
Corrección por superestructuras (mm)	-1070
Corrección por arrufo (mm)	-67
Corrección por espesor de cubierta (mm)	15
Corrección por altura mínima de proa (mm)	-
Francobordo geométrico (mm)	1398



El calado que permite el Convenio Internacional de Líneas de Carga es superior al de proyecto, luego la aplicación del Convenio no va a suponer una penalización en la capacidad de carga del buque proyecto.

Se considera un margen de 200mm de escantillonado sobre el calado a plena carga, obteniéndose un calado de escantillonado de 6200 sobre línea base. Esto supone:

Francobordo tabular (mm)	2520
Corrección por eslora (mm)	-
Corrección por coeficiente de bloque	-
Corrección por puntal (mm)	-
Corrección por superestructuras (mm)	-1070
Corrección por arrufo (mm)	-67
Corrección por espesor de cubierta (mm)	15
Corrección por altura mínima de proa (mm)	-
Francobordo geométrico (mm)	1398

Cálculo de la corrección por escantillonado	mm
Puntal de francobordo	9015
Calado de escantillonado	-6200
Francobordo geométrico	-1398
Corrección por escantillonado	1417

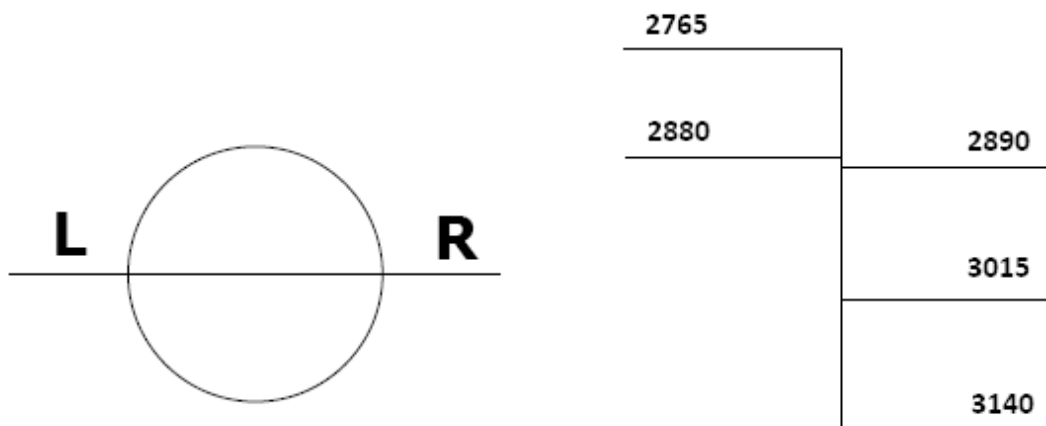
Cálculo del francobordo de verano	mm
Francobordo geométrico	1398
Corrección por escantillonado	1417
Corrección por estabilidad	200
Francobordo de verano	3015

Cálculo del calado de verano	mm
Puntal de francobordo	9015
Francobordo de verano	3015
Calado de verano	6000
Calado real de verano (+ espesor quilla)	6015

**7.3.9. Francobordos mínimos (Regla 40)**

La siguiente tabla muestra los valores obtenidos tras realizar los cálculos indicados en la Regla 40 del Convenio.

Francobordo	mm
Francobordo de verano en agua salada	3015
Francobordo en agua salada tropical	2890
Francobordo de invierno en agua salada	3140
Francobordo de invierno en el Atlántico Norte	3140
Francobordo de verano en agua dulce	2880
Francobordo en agua dulce tropical	2765



Aspecto del disco de Plimsoll que iría en cada uno de los costados del barco.



8. ARQUEO

En la actualidad el arqueo se rige por el sistema universal de la Conferencia Internacional sobre Arqueo de Buques de 1969, de la IMO. En él se diferencia entre Arqueo Bruto (Gross Tonnage) y Arqueo neto (Net Tonnage). El Arqueo Bruto está basado en el volumen de todos los espacios cerrados del buque, mientras que el Arqueo Neto es el volumen de los espacios de carga más el volumen de los espacios destinados al pasaje, siendo multiplicados ambos por unos coeficientes que determinaremos más adelante. Las expresiones a utilizar para su cálculo son:

$$GT = k_1 \cdot V$$

$$NT = k_2 V_c (4T/3D)^2 + k_3 (N_1 + N_2/10)$$

Donde:

- T: calado de trazado.
- D: puntal de trazado. Para la sección maestra es el puntal hasta la cubierta resistente), es decir, 18,75m.
- $K_1 = 0.2 + 0.02 \cdot \log_{10} V$
- $K_2 = 0.2 + 0.02 \cdot \log_{10} V_c$
- $K_3 = 1.25 \cdot (GT + 10000) / 10000$
- N_1 = Nº de pasajeros en camarotes que no tengan más de 8 literas.
- N_2 = Nº restante de pasajeros.

Para poder considerar válidos los resultados obtenidos con estas expresiones se tendrá en cuenta lo siguiente:

- Cuando $N_1 + N_2$ es menor que 13, N_1 y N_2 se tomarán iguales a 0.
- El factor $(4T/3D)^2$ no debe ser mayor que la unidad y el término $k_2 V_c (4T/3D)^2$ no debe ser menor que 0.25GT.
- NT debe ser mayor o igual que 0.30GT.
- Todos los volúmenes incluidos en los cálculos deben ser medidos hasta el interior del casco o de los límites del acero estructural, exista o no aislamiento, en buques contruidos de metal. El volumen de los apéndices está incluido pero no así el de los espacios abiertos al mar.
- GT y NT carecen de dimensiones.
- El cálculo de GT y NT precisa de la determinación previa de los volúmenes de los espacios cerrados del buque, diferenciando si son o no de carga.



Espacio	Volumen espacios cerrados V(m3)	Volumen espacios de carga Vc(m3)
Hasta doble fondo	3070	0
Desde doble fondo hasta Cub. Ppal	21555	0
Cub. Ppal	22942	15823
Cub. Superior	14272	10388
1ª cubierta habilitación	9280	6235
2ª cubierta habilitación	8984	7933
3ª cubierta habilitación	5803	0
4ª cubierta habilitación	1160	0
Total	87066	40379

Una vez obtenidos estos valores, podemos proceder a calcular GT y NT:

- $T = 6,015 \text{ m.}$
- $D = 9,015 \text{ m.}$
- $K_1 = 0,2 + 0,02 \cdot \log_{10} V = 0,299$
- $K_2 = 0,2 + 0,02 \cdot \log_{10} V_c = 0,292$
- $K_3 = 1,25 \cdot (GT + 10000) / 10000 = 4,5$
- $N_1 = 160$
- $N_2 = 640$
-

Por tanto;

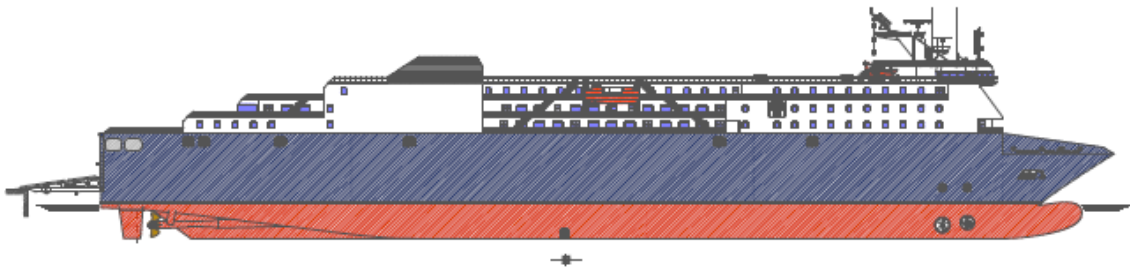
- **Arqueo bruto (GT) = 26033**
- **Arqueo neto (NT) = 9675**



Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales

Proyecto Fin de Carrera nº034

ROPAX 4000 TPM



Cuaderno 6

Propulsión y Gobierno

Tutor:

José María Riola Rodríguez

Alumno:

Francisco Sastre Guasch



Índice

1. INTRODUCCIÓN	4
2. PREDICCIÓN DE LA POTENCIA DE REMOLQUE	5
3. DETERMINACIÓN DEL CONJUNTO PROPULSIVO	8
3.1. Determinación del número de líneas de ejes	8
3.2. Determinación del número de motores por línea de ejes	8
3.3. Determinación de las propiedades de la hélice	8
3.3.1. Tipo de hélice	8
3.3.2. Número de palas de las hélices	9
3.3.3. Determinación del diámetro de la hélice e inmersión del eje	9
3.3.4. Relación área-disco	10
3.3.5. Sentido de giro	10
3.4. Determinación de los coeficientes propulsivos	11
3.4.1. Coeficiente de succión	11
3.4.2. Coeficiente de estela a identidad de empuje.....	11
3.4.3. Rendimiento rotativo-relativo.....	12
3.4.4. Rendimiento del casco	12
3.4.5. Rendimiento mecánico	12
3.4.6. Rendimiento del propulsor en aguas libres	13
3.4.7. Rendimiento propulsivo total	13
3.5. Elección de la hélice	13
3.5.1. Valores de partida	14
3.5.2. Valores obtenidos	14
4. DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA INSTALADA A BORDO.....	15
4.1. Determinación de la potencia necesaria.....	15
4.2. Elección de la maquinaria instalada	16
4.3. Velocidad de servicio.....	16
5. PROYECTO DEL TIMÓN	17
5.1. Número y tipo de timones	17
5.2. Área del timón.....	17



5.3. Fuerzas en el timón	18
5.4. Características de maniobrabilidad	18
5.4.1. Facilidad de evolución	18
5.4.2. Facilidad de cambio de rumbo	19
5.5. Ángulo de desprendimiento	19
5.6. Parámetros del timón	20
5.6.1. Altura del timón	20
5.6.2. Relación altura-cuerda	20
5.6.3. Relación espesor-cuerda	20
5.7. Generación de alternativas	21
5.7.1. Procedimiento	21
5.7.2. Alternativa seleccionada	21
5.8. Centro de presiones sobre la pala del timón	22
5.8.1. Posición del centro de presiones marcha adelante	22
5.8.2. Posición del centro de presiones cuando	23
5.9. Par resistente en la mecha del timón	23
5.10. Área de compensación	24
5.11. Obtención de las dimensiones del timón	24
5.12. Validez del timón obtenido	25
5.12.1. Diámetro de giro	25
5.12.2. Diámetro de evolución	25
5.12.3. Avance estimado	26
5.13. Perfil del timón	26
5.14. Cálculo del servomotor	27
6. Cálculo de las hélices de maniobra	28
Anexo 1	30
Anexo 2	32



1. INTRODUCCIÓN

En este cuaderno obtendremos por un lado, la potencia que debe de suministrar la planta propulsora de nuestro buque a fin de proporcionar la velocidad de pruebas definida en las especificaciones del proyecto, y por otro lado las características principales de la hélice. Todo ello se realizará mediante el programa MIOR proporcionado por la Cátedra de Motores y Máquinas Marinas.

Por último, definiremos el equipo de gobierno del buque, el cual está formado por; los timones, el servomotor y las hélices transversales. Para la realización de todos los cálculos se tendrá en cuenta la normativa exigida por nuestra sociedad de clasificación, Bureau Veritas.



2. PREDICCIÓN DE LA POTENCIA DE REMOLQUE

En el dimensionamiento del buque proyecto se determinó la potencia de remolque partiendo de estimaciones de las formas del buque y de los apéndices del casco. Una vez definidas éstas, la potencia puede calcularse con mayor precisión.

Dado que no se tiene la posibilidad de realizar un ensayo de remolque, se ha llevado a cabo una predicción mediante el método de Holtrop-Mennen con las correcciones de 1984, y haciendo uso de un software proporcionado por la Cátedra de Motores y Máquinas Marinas de la ETSIN.

Para poder aplicar el método de Holtrop-Mennen deben cumplirse las siguientes condiciones:

$$\begin{aligned}Fn &< 0,45 \\ 0,55 &< CP < 0,85 \\ 3,9 &< L_{pp}/B < 9,5\end{aligned}$$

Dado que los valores correspondientes del buque proyecto se encuentran dentro de los intervalos requeridos, podemos aplicar el método sin problemas.

Para su aplicación se hará uso de los siguientes valores relativos al casco, los apéndices y las hélices transversales de proa:

Parámetro	Valor
Eslora entre perpendiculares (L_{pp})	160,00m.
Eslora en la flotación (L_{wl})	173,86m.
Manga de trazado (B)	25,00m.
Calado a proa (T_{Pr})	6,00m.
Calado medio (T_M)	6,00m.
Calado a popa (T_{Pp})	6,00m.
Desplazamiento volumétrico (∇)	13934 m ³ .
Coeficiente de la maestra (C_m)	0,98
Coeficiente de la flotación (C_{wp})	0,79
Coeficiente de bloque (C_b)	0,58
Coeficiente prismático (C_p)	0,59
Superficie mojada (S_m)	4630 m ² .
Semiángulo de entrada en la flotación	15°
Área transversal del bulbo en la perpendicular de proa	14,8 m ² .
Altura del cdg del área transversal del bulbo en la perpendicular de proa (h_B)	3,4 m.



Datos apéndices	Nº	Coeficiente resistencia (1+k2)	Área unitaria (m2)	Área total (m2)
Quillote	1	1,5	175	172
Timón	2	2,8	30	60
Arbotantes	2	3	15	30
Quillas de balance	2	1,4	25	50
Ejes	2	2	25	50
Aletas estabilizadoras	2	2,8	15	30

Hélice transversal de proa	Diámetro (m)	Coeficiente resistencia del túnel (CBTO)
1	2	0,006
2	2	0,006

Además se ha considerado una rugosidad del casco de 150 micras.

El estudio de la resistencia al avance del casco la divide en tres componentes:

- Resistencia viscosa. Queda definida a partir de la resistencia de fricción según la expresión:

$$R_v = r \cdot R_F$$

Siendo:

- r : Factor de formas de Hughes.
- R_F : Resistencia de fricción.
-
- Resistencia por formación de olas. Resistencia debida al sistema de olas creado por el buque cuando avanza.
- Resistencia residual.

El programa utilizado nos devuelve la resistencia al avance, los valores de sus componentes y la potencia efectiva. Los resultados obtenidos se recogen en la siguiente tabla:

Vb (knt)	Fn	Rn	Cf	Rv (N)	Rw (N)	Rr (N)	Rt (N)	Pot.Efectiva (CV)
24	0,2990	1806	1,4242	716934	202075	168022	1087032	18260
25	0,3115	1882	1,4173	774897	241613	178230	1194743	20906
26	0,3239	1957	1,4106	835007	296477	188674	1320158	24024
27	0,3364	2032	1,4043	897256	373331	199353	1469940	27779
28	0,3488	2108	1,3983	961638	478124	210275	1650036	32337



Donde:

- Vb: Velocidad del buque en nudos.
- Fn: N° de Froude.
- Rn: N° de Reynolds.
- Cf: Coeficiente de fricción.
- Rv: Resistencia viscosa, en N.
- Rw: Resistencia por formación de olas, en N.
- Rr: Resistencia residual, en N.
- Rt: resistencia total al avance, en N.
- Pot. efectiva: Potencia efectiva, en CV.

Según los resultados obtenidos, para una velocidad en pruebas de 26 nudos, la resistencia al avance es 1320,2kN y la potencia de remolque (EHP) correspondiente, 17.670 kW.

Considerando un rendimiento propulsivo de, 0,60, obtenemos la potencia al freno necesaria en pruebas: 29450 kW. Esta potencia debe alcanzarse a un régimen del 85%, luego la potencia total MCR necesaria es igual a 34647 kW.



3. DETERMINACIÓN DEL CONJUNTO PROPULSIVO

3.1. Determinación del número de líneas de ejes

La solución más práctica y simple sería que nuestro buque dispusiera de una sola línea de ejes, pero debido a los siguientes condicionantes se decide optar por una solución con dos líneas de ejes:

- Hay exigencias especiales de maniobrabilidad. El buque debe entrar y salir de puerto en el menor tiempo posible para que los costes de explotación sean mínimos (menor dependencia de los remolcadores de puerto). Disponiendo además de hélices de paso controlable se mejora aún más la maniobrabilidad.
- Exigencias especiales de seguridad. Nuestro buque proyecto debe transportar en óptimas condiciones a 800 pasajeros, luego no puede permitirse quedarse detenido por un problema en uno de los propulsores. Dotar al buque de dos hélices contribuye a prevenir esta situación.
- Limitaciones del espacio disponible. Disponer de grandes motores de dos tiempos conllevaría reducir la capacidad de carga y entorpecer las operaciones de carga y descarga de vehículos. Un sistema con dos líneas de ejes permite subdividir la potencia y reducir el empacho de los motores principales.
- Calado mínimo con el que opera el buque. Nuestro buque cuenta con un calado reducido, limitándose el diámetro de la hélice, por lo que disponer de una sola hélice no supone una mejora de la eficiencia.

3.2. Determinación del número de motores por línea de ejes

Con el fin de abastecer la demanda de potencia de nuestro buque será necesario disponer de dos motores por línea de ejes. Además, debido a la reducida altura de la cámara de máquinas, los motores utilizados deberán ser de 4 tiempos y semi-rápidos, lo que implica tener que instalar una reductora por línea de eje.

3.3. Determinación de las propiedades de la hélice

3.3.1. Tipo de hélice

Las hélices que se decide instalar son de paso controlable (Controllable Pitch Propeller, CPP). Entre las ventajas de este tipo de hélices cabe mencionar las siguientes:

- Permiten proporcionar un alto rendimiento propulsivo a cualquier velocidad y condición de carga. Cuando un buque navega a plena carga, la potencia requerida para propulsar el barco es mucho mayor que cuando no va cargado. Mediante un ajuste del paso, la hélice puede girar a las mismas revoluciones, obteniéndose el máximo rendimiento y ahorrándose combustible.
- Mejora la maniobrabilidad del barco. Una hélice de paso controlable permite modificar rápidamente el sentido del empuje (y detener el barco) sin reducir las revoluciones de la hélice (dependiendo del tamaño de la hélice, esto puede llevarse a cabo en 15-40s).



- Como se mencionó anteriormente, este incremento en la maniobrabilidad supone una menor dependencia de los remolcadores de puerto.
- Evita la necesidad de disponer de reductoras o motores reversibles, suponiendo un ahorro en la instalación y mantenimiento de estos elementos.

Sin embargo, disponer de este tipo de hélices también conlleva inconvenientes tales como un menor rendimiento propulsivo debido a un mayor tamaño del núcleo, un mayor precio (de 3 a 4 veces más caras que las equivalentes de paso fijo) y, debido a su complejidad, un mayor riesgo de problemas durante su funcionamiento.

3.3.2. Número de palas de las hélices

La elección del número de palas debe tener en cuenta los siguientes condicionantes:

- A mayor número de palas menor la magnitud de las vibraciones inducidas al casco y la maquinaria.
- El rendimiento propulsivo de la hélice y el diámetro óptimo aumentan a medida que disminuye el número de palas, y, en alguna medida, esto afectará a la velocidad de rotación de la hélice.
- Un aumento del número de palas incrementa el coste de la hélice. El valor del diámetro está limitado, luego, con el fin de que la hélice no esté sobrecargada y surjan problemas de cavitación, se tenderá a aumentar el número de palas.
- Buques de similares características optan por hélices de 4 palas.
- Resulta complicado insertar más de cuatro palas en una hélice de paso controlable.

Tras considerar las razones expuestas, optaremos por la solución de 4 palas por hélice.

3.3.3. Determinación del diámetro de la hélice e inmersión del eje

Cuanto mayor es el diámetro de la hélice mayor es el rendimiento de la misma, en este tipo de buques. Se buscará por tanto el mayor diámetro posible, limitado fundamentalmente por el calado del buque y por las formas del codaste.

Además, se deben cumplir los criterios establecidos por la Sociedad de Clasificación, que en nuestro caso es Bureau Veritas. La Sociedad de Clasificación establece unos huelgos entre la hélice y el casco cuyo objetivo es que la interacción entre ambas no provoque vibraciones ni cavitación.

El diámetro de la hélice debe ser tal que la inmersión mínima recomendada del punto más alto sea 1/10 del diámetro del propulsor para evitar problemas de cavitación. El diámetro escogido, teniendo en cuenta todo lo mencionado anteriormente, es de 4,4 m.

La línea de ejes deberá ser lo más baja posible para evitar la aparición del problema de la cavitación. Se deberán tener en cuenta los huelgos de la hélice requeridos para que ésta no golpee con nada. A tal efecto, se suele disponer de un margen de 100mm como mínimo. En base a ello se tomará una altura de línea de ejes, de 2.50 metros.



Como en principio la hélice tiene un diámetro de 4,4 metros dispone del margen requerido de 100mm. Además, al ser el calado de 6 metros, la línea de ejes estará sumergida una profundidad de 3.5 metros y el punto más alto de la hélice, a 1.5 metros de la superficie del agua, cumpliendo así con el requisito de que la inmersión mínima recomendada en este punto sea 1/10 del diámetro. Eligiendo una adecuada relación área/disco se puede evitar el riesgo de cavitación.

3.3.4. Relación área-disco

Para la relación área-disco el criterio de Keller define un límite máximo con el fin de prevenir la cavitación en la cara de succión:

$$\frac{A_E}{A_0} \geq \frac{(1,3 + 0,3 \cdot Z) \cdot T}{(P_0 - P_v) \cdot D^2} + k$$

Donde:

- Z: Nº de palas de la hélice
- T: Empuje proporcionado en kg
- D: Diámetro de la hélice
- $(P_0 - P_v)$: Diferencia entre la presión estática y la presión de vapor a la altura del núcleo de la hélice, en N/m². Puede ser expresada en función de la inmersión de la línea de ejes:

$$(P_0 - P_v) = 99047 \text{ N/m}^2$$

- k: Coeficiente que depende del tipo de buque y que toma el valor 0 para buques rápidos con dos ejes.

Introduciendo los valores conocidos, obtenemos el siguiente límite superior para la relación área/disco:

$$A_E/A_0$$

Estos valores son obtenidos por el programa MIOR y se encuentran recogidos en la tabla del apartado 3.5.2.

3.3.5. Sentido de giro

En buques de dos líneas de ejes, una disposición común es aquella en la que la hélice de estribor, vista desde popa, gira en sentido horario, mientras que la hélice de babor lo hace en sentido anti horario. Esto permitirá alejar de las hélices cualquier objeto flotante.



3.4. Determinación de los coeficientes propulsivos

3.4.1. Coeficiente de succión

El coeficiente de succión permite evaluar la acción de la hélice sobre el casco. Se define a partir de la siguiente fórmula:

$$t = \frac{T - R_T}{T}$$

- T: Empuje que proporcionan las hélices
- R: Empuje que requiere el buque para ser remolcado a la velocidad de prueba si no tiene hélice.

Aplicando el método de Holtrop para dos líneas de ejes se obtiene una fórmula que es igual a:

$$t = 0,325 \cdot C_B - 0,1885 \cdot \frac{D}{\sqrt{(B \cdot d)}}$$

Donde D es el diámetro de la hélice y d el calado del buque.

Estos valores son obtenidos por el programa MIOR y se encuentran recogidos en la tabla del apartado 3.5.2.

3.4.2. Coeficiente de estela a identidad de empuje

Representa la pérdida de velocidad del flujo que llega a la hélice debido a la presencia del casco. Se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$w = \frac{V_a - V}{V}$$

Donde:

- V es la velocidad del buque:
- V_a es la velocidad a la que debería desplazarse la hélice, girando a las mismas revoluciones, pero en aguas libres, para desarrollar el mismo empuje.

Para dos líneas de ejes el método de Holtrop proporciona la siguiente expresión para el coeficiente:

$$w = 0,3095 \cdot C_B + 10 \cdot C_V \cdot C_B - 0,23 \frac{D}{\sqrt{Bd}}$$

Donde C_v es el coeficiente de resistencia viscosa.

Estos valores son obtenidos por el programa MIOR y se encuentran recogidos en la tabla del apartado 3.5.2.



3.4.3. Rendimiento rotativo-relativo

El rendimiento rotativo-relativo considera las diferencias entre el ensayo de aguas libres y el flujo tridimensional y no homogéneo encontrado por la hélice en un ensayo con casco.

Para dos líneas de ejes, Holtrop recomienda la siguiente expresión:

$$\eta_{RR} = 0.9737 + 0.111 \cdot (C_P - 0.0225 \cdot X_{CC}) - 0.06325 \frac{P}{D}$$

Donde:

- X_{CC} es la posición longitudinal del centro de carena respecto la cuaderna maestra expresado en porcentaje respecto de la eslora de la flotación.
- P/D es el cociente paso-diámetro en la estación 0,75.

Estos valores son obtenidos por el programa MIOR y se encuentran recogidos en la tabla del apartado 3.5.2.

3.4.4. Rendimiento del casco

Se define a partir de los coeficientes de succión y de la estela:

$$\eta_H = \frac{1 - t}{1 - w}$$

Estos valores son obtenidos por el programa MIOR y se encuentran recogidos en la tabla del apartado 3.5.2.

3.4.5. Rendimiento mecánico

Considera las pérdidas que tienen lugar desde el motor hasta la hélice, a lo largo de la reductora y la línea de ejes.

Se ha considerado el siguiente valor:

$$\eta_M = 0,95$$



3.4.6. Rendimiento del propulsor en aguas libres

El rendimiento en aguas libres se define como la relación entre la potencia entregada a la hélice y la potencia que ésta absorbe. Para su obtención, por medio del programa anteriormente mencionado, se ha utilizado los datos conocidos de la Serie BB del Canal de Wageningen, de la que se conocen los valores de par y empuje en función de la relación paso/diámetro, área/disco, número de palas y grado de avance.

A partir de esta formulación, el programa determina los parámetros necesarios para la determinación del rendimiento:

$$\eta_0 = \frac{K_T}{K_Q} \cdot \frac{J}{2\pi}$$

Estos valores son obtenidos por el programa MIOR y se encuentran recogidos en la tabla del apartado 3.5.2.

3.4.7. Rendimiento propulsivo total

Queda definido como el cociente entre la potencia efectiva de remolque del buque y la potencia al freno entregada por el motor propulsor:

$$\eta_P = \frac{EHP}{BHP} = \eta_C \cdot \eta_{RR} \cdot \eta_M \cdot \eta_0$$

Estos valores son obtenidos por el programa MIOR y se encuentran recogidos en la tabla del apartado 3.5.2.

3.5. Elección de la hélice

Las hélices que se obtengan deben ser capaces de propulsar el buque proyecto a la velocidad indicada en las especificaciones (26knt) en las condiciones especificadas, que son las de pruebas de mar.



3.5.1. Valores de partida

Los valores definidos anteriormente, y que se muestran a continuación, serán introducidos en el software mencionado para obtener las características de la hélice girando a diferentes revoluciones:

Nº propulsores	2
Tipo de propulsor	Serie BB del Canal de Wageningen. CPP
Diámetro (m)	4,4
Nº de palas	4
Altura de la línea de ejes sobre línea base (m)	2,50
$P_0 - P_{\text{vapor}} hE$ (N/m ²)	99047
Rugosidad superficie propulsor (micras)	30
Rendimiento de la línea de ejes	0,95
Régimen del motor (régimen de pruebas)	0,85

3.5.2. Valores obtenidos

A continuación se exponen los resultados proporcionados por el programa MIOR de la Cátedra de Motores para la velocidad de pruebas definida en las especificaciones (26knt).

RPM	w	t	η_{RR}	η_o	η_p	J	kT	kQ
200	0,0936	0,1059	0,9691	0,6764	0,6143	0,8266	0,17271	0,03359
190	0,0936	0,1059	0,9641	0,6771	0,6117	0,8701	0,19160	0,03919
180	0,0936	0,1059	0,9584	0,6764	0,6075	0,9185	0,21336	0,04611
170	0,0936	0,1059	0,9518	0,6757	0,6027	0,9725	0,23957	0,05488

RPM	Pot.(kW)	Pot.Nom.(kW)	A_E/A_o	P/D	c	t/c
200	28767	33843	0,8	1,1226	1,824	0,03257
190	28888	33986	0,8	1,2019	1,824	0,03257
180	29088	34220	0,8	1,2918	1,824	0,03257
170	29320	34494	0,8	1,3955	1,824	0,03257

Donde:

- J: grado de avance.
- c: cuerda del propulsor.
- t/c: relación espesor-cuerda para el propulsor.

Se decide optar por unas RPM de 180 debido a ser el valor máximo permitido, para que la velocidad en la punta de la hélice no exceda de los 42m/s. Para este valor el rendimiento total es mayor que para RPM inferiores.



4. DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA INSTALADA A BORDO

4.1. Determinación de la potencia necesaria

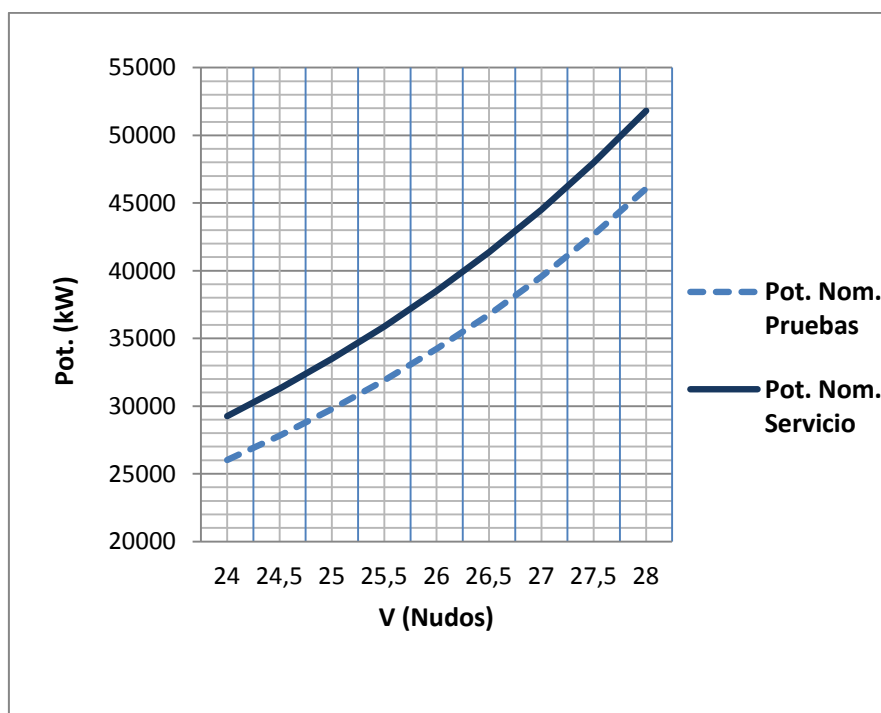
Las especificaciones del proyecto indican que los motores principales deben ser capaces de propulsar el barco a 26knt al 85% de la MCR. Determinamos la potencia al freno necesaria mediante la siguiente expresión, donde hemos considerado un rendimiento propulsivo, calculado anteriormente, de 0,6075.

$$\text{Pot. Nom. pruebas} = \frac{\text{Pot.}}{\eta_p}$$

En condiciones de servicio la potencia necesaria para propulsar el buque a la velocidad de pruebas es mayor que el valor anterior. La razón es que las pruebas de mar se llevan a cabo en condiciones meteorológicas ideales, mientras que las condiciones de navegación normal implican fenómenos que suponen un aumento de la resistencia al avance. La potencia al freno en condiciones de servicio la obtenemos considerando los regímenes de potencia correspondientes a las condiciones de pruebas (85%) y el régimen en condiciones de servicio que al no especificarlo, lo tomaremos como el (90%). Todos estos valores fueron definidos en las especificaciones.

$$\text{Pot. Nom. SERVICIO} = \frac{\text{Rég. servicio}}{\text{Rég. pruebas}} \cdot \frac{\text{Pot.}}{\eta_p}$$

En el siguiente gráfico pueden observarse las dos curvas obtenidas.





Según los resultados obtenidos, para una velocidad en pruebas de 26 nudos, la resistencia al avance es 1.320kN y la potencia de remolque (EHP) correspondiente, 17.670 kW.

Considerando el rendimiento propulsivo calculado anteriormente de, 0,6075, obtenemos la potencia al freno necesaria en pruebas: 29086 kW. Esta potencia debe alcanzarse a un régimen del 85%, luego la potencia total MCR necesaria es igual a 34219 kW.

4.2. Elección de la maquinaria instalada

Como se justificó en el Apartado 3.2, contaremos con cuatro motores de 4 tiempos semi-rápidos. La potencia de placa de cada uno debe ser mayor o igual que la cuarta parte del valor obtenido en el apartado anterior.

Como se expone en el Cuaderno 7, se decide optar por el modelo **12V38 Wartsila**, con una potencia de placa de **8700 kW a 600 rpm**, dado que es el motor cuya potencia de placa toma un valor más próximo a las rpm deseadas. Dada la diferencia de potencia entre la potencia de placa de los motores seleccionados y la potencia necesaria (una diferencia de 145,25 kW para cada motor), no habrá ningún problema ya que se trata de una diferencia del 1,7%, no será necesaria ajustar las características del propulsor.

4.3. Velocidad de servicio

Entrando con el valor del 90% (régimen de servicio) de la MCR total de los MMPP seleccionados (34800kW) en la gráfica obtenida anteriormente, y buscando el punto de corte con la curva de potencia nominal de servicio, obtenemos la velocidad de servicio: **24.6 knt**.



5. PROYECTO DEL TIMÓN

Alcanzar unas condiciones óptimas de maniobrabilidad no es posible por medio de modificaciones en las formas o las dimensiones del buque, pues estas ya nos vienen condicionadas por parámetros tales como la capacidad de carga, la estabilidad o la velocidad.

Proceder de ese modo puede resultar confuso y originar problemas, ya que algunos parámetros permiten mejorar aspectos de la maniobrabilidad a la vez que perjudican otros.

Debido a ello, si se desea lograr una buena maniobrabilidad del buque debe realizarse un adecuado diseño del timón. Para la determinación de las dimensiones principales del timón se va a utilizar la tesis doctoral de Antonio Baquero y las recomendaciones de la Sociedad de Clasificación, que en nuestro caso es Bureau Veritas.

5.1. Número y tipo de timones

Se decide instalar **dos timones** por las siguientes razones:

- Dotamos al buque de una mayor maniobrabilidad.
- Aumenta la seguridad al duplicar el sistema de gobierno.
- Aumenta la superficie de incidencia al agua.
- Disponer de dos timones cuando existen dos líneas de ejes permite situarlos en zonas de alta velocidad, incrementando el rendimiento en la transmisión del cambio de rumbo.

Considerando el tipo de timón de buques similares al nuestro, los timones de nuestro buque proyecto van a ser suspendidos y compensados. Un timón suspendido presenta una mayor facilidad de desmontaje que un timón apoyado. Por su parte, en un timón compensado la distancia entre el eje de giro y el centro de presiones se reduce, lo que supone un menor momento de adrizamiento y la necesidad de un servomotor de menor potencia para controlar el timón.

5.2. Área del timón

Generalmente el área de cada timón estará entre el 1.5 y el 2.1% del área de deriva:

$$A_{Deriva} = L_{PP} \cdot d = 960 \text{ m}^2$$

Área mínima (m2)	14,4
Área máxima (m2)	20,16



5.3. Fuerzas en el timón

En primer lugar determinamos las fuerzas existentes sobre el timón. De las dos componentes, longitudinal y normal, sólo nos interesa la componente normal, dado que la primera toma un valor despreciable incluso para valores elevados del ángulo de caña. Sin embargo, en realidad no toda la fuerza normal contribuye al giro del buque. La fuerza útil que origina el giro, denominada **fuerza transversal**, es normal al plano de crujía y puede obtenerse mediante la fórmula:

$$F_T = 0,5 \cdot \rho_{AS} \cdot A_R \cdot V_A^2 \cdot C_{FT}$$

- Área del timón A_R .
- Velocidad de avance del buque.
- C_{FT} : Coeficiente función de las dimensiones del timón y de la hélice, del coeficiente de empuje y del coeficiente de bloque del buque.

A partir de la fuerza transversal podemos determinar la **fuerza normal** aplicando la siguiente expresión:

$$F_N = \frac{F_T}{C}$$

Donde C es un coeficiente determinado empíricamente y expresable en función del ángulo de giro de la caña (d , expresado en grados):

$$C = 1 - 0,00286 \cdot d$$

5.4. Características de maniobrabilidad

5.4.1. Facilidad de evolución

La facilidad de evolución se define como la capacidad del buque para realizar un cambio importante de rumbo y trayectoria. Se evalúa mediante el cociente entre el diámetro de giro D_0 , y la eslora entre perpendiculares. Cuanto menor sea esta relación mejor maniobrabilidad tendrá el buque.

El método maneja unos máximos para este cociente en función del coeficiente de bloque, interpolándose para valores entre 0,6 y 0,8. La siguiente expresión permite obtener el máximo del cociente para los valores intermedios (el timón se considera girado 35°):

$$\frac{D_0}{L_{pp}} \leq 7,2 - 5 \cdot C_B$$

Introduciendo los valores propios de nuestro buque proyecto, obtenemos el siguiente máximo para el diámetro de giro:

$$D_0 \leq 688m$$

Cualquier timón que proporcione un valor superior al obtenido es descartado.



5.4.2. Facilidad de cambio de rumbo

Es la capacidad del buque para modificar la ruta o la trayectoria en el menor espacio y en el menor tiempo posible.

Puede ser valorado mediante:

- El **Número de Norbin**: Es el ángulo de rumbo girado por unidad de giro del timón ($^\circ$), cuando el buque ha navegado una eslora desde el accionamiento del timón. Debe ser mayor que 0,2, lo que, aplicado a un giro de 35° del timón, supone que el rumbo del buque debe variar como mínimo 7° después de accionar el timón y navegar una eslora. Su valor mínimo se expresa en función el coeficiente de bloque, y, para un ángulo de 35° , se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$P_{\text{mínimo}} = 0,6 - 0,5 \cdot C_B = 0,31$$

- El **avance**. Mide la respuesta en longitud de giro del buque. Cuanto menor sea, mejor comportamiento tiene el timón. Podemos definir un máximo mediante la siguiente expresión:

$$\left(\frac{A_V}{L_{pp}} \right)_{\text{máx}} = 4,3 - 0,5 \cdot C_B = 4,01$$

$$A_{V\text{máx}} = 641,6 \text{ m.}$$

5.5. Ángulo de desprendimiento

Cuando un timón se encuentra muy cargado se produce el desprendimiento del flujo debido a la viscosidad en la cara de succión, apareciendo una zona con presiones mayores que las que habría sin desprendimiento (zona de remanso), desplazándose el centro de presión hacia popa y aumentando el par en la mecha del timón.

Con objeto de que no se dé esta situación en la zona de trabajo del timón (35°), el ángulo de desprendimiento, definido por la expresión que se detalla a continuación, debe ser mayor que 35° :

$$d_s = 7,11 \cdot (1 + 7E) \cdot \left(1 + \frac{1,25}{\Gamma} \right) \cdot \left(1 + 0,048 \cdot \sqrt{\ln \left(1 + \frac{8 \cdot K_T}{\pi \cdot J^2} \right)} \right) \frac{h}{D}$$

Donde:

- E: relación espesor/cuerda.
- G: relación altura/cuerda.
- Kt: Coeficiente de empuje de la hélice.



- J: grado de avance de la hélice.
- h: altura del timón.
- D: Diámetro de la hélice.

5.6. Parámetros del timón

A continuación se analizan los parámetros que definen el timón, siguiendo las indicaciones de la mencionada tesis de D. Antonio Baquero.

5.6.1. Altura del timón

La altura del timón puede ser determinada a partir de los valores aproximados de las claras que deben mantener los cantos alto y bajo del timón con el casco y la línea base, respectivamente.

No conviene aproximar el timón a la bovedilla, dado que la parte superior se encontraría en una zona de bajas velocidades, desaprovechándose aérea. Se recomienda que el canto alto del timón diste del casco como mínimo el 6% de H, siendo H la distancia medida verticalmente entre la intersección de la mecha con el casco y la línea base. Además, la distancia del canto bajo a la línea base debe ser alrededor del 8% de H.

Teniendo en cuenta que $H = 5,8$ m, la altura máxima del timón es:

$$h_{\text{máx}} = 4,988\text{m.}$$

5.6.2. Relación altura-cuerda

Esta relación debe mantenerse dentro de cierto margen para, por un lado, evitar el desprendimiento de flujo (valores altos), y, por otro lado, que el par en la mecha del timón no sea demasiado alto (valores bajos).

$$1,4 < \Gamma < 2,0$$

5.6.3. Relación espesor-cuerda

Imponer restricciones al valor de esta relación tiene por objeto evitar espesores inadecuados que puedan llegar a bloquear el flujo de salida de la hélice, perjudicando su funcionamiento. Deberá mantenerse en el siguiente intervalo:

$$0,15 < E < 0,23$$



5.7. Generación de alternativas

5.7.1. Procedimiento

El procedimiento consiste en variar, para nueve alturas del timón comprendidas entre 0,76H y 0,84H, los valores de la relación altura-cuerda y de la relación espesor-cuerda dentro de los intervalos definidos anteriormente.

Para cada altura la combinación Γ -E óptima es aquella con un valor menor de Γ , dado que conlleva menor área del timón, menor par sobre la mecha, menor peso de los timones y mayor huelgo en el codaste.

Como consideraciones adicionales, se tiene en cuenta lo siguiente:

- La siguiente expresión proporciona un mínimo del área del timón:

$$A_R \geq 0,01 \cdot L_{pp} \cdot T \cdot \left(1 + 50 \cdot C_B^2 \cdot \left(\frac{B}{L_{pp}} \right)^2 \right)$$

$$A_R \geq 13,54 \text{ m}^2$$

- Como se comentó en el apartado 4.2.2, para un buque de dos hélices, el área de cada timón suele estar entre el 1,5% y el 2,1% del área de deriva:

$$A_{\text{Deriva}} = L_{pp} \cdot d = 960 \text{ m}^2$$

$$\text{Resultando } 14,4 \text{ m}^2 \leq A_R \leq 20,16 \text{ m}^2$$

5.7.2. Alternativa seleccionada

Entre las alternativas generadas se ha seleccionado un timón que, cumpliendo con las condiciones mencionadas anteriormente, tuviera, por un lado, una relación de alargamiento y una altura lo más alta posible, y, por otro lado, un área no demasiado alta para evitar altos pares sobre la mecha.

Parámetro	Valor
h/H	0,83
h(m)	4,81
Γ (h/c)	1,50
c(m)	3,21
t/c	0,22
t(m)	0,706
A_R (m ²)	15,45



5.8. Centro de presiones sobre la pala del timón

La importancia de determinar el centro de presiones no reside en su influencia sobre la maniobrabilidad, sino en cómo dependen de su posición el par en la mecha del timón, y, consecuentemente, el escantillonado de la mecha y la potencia del servomotor.

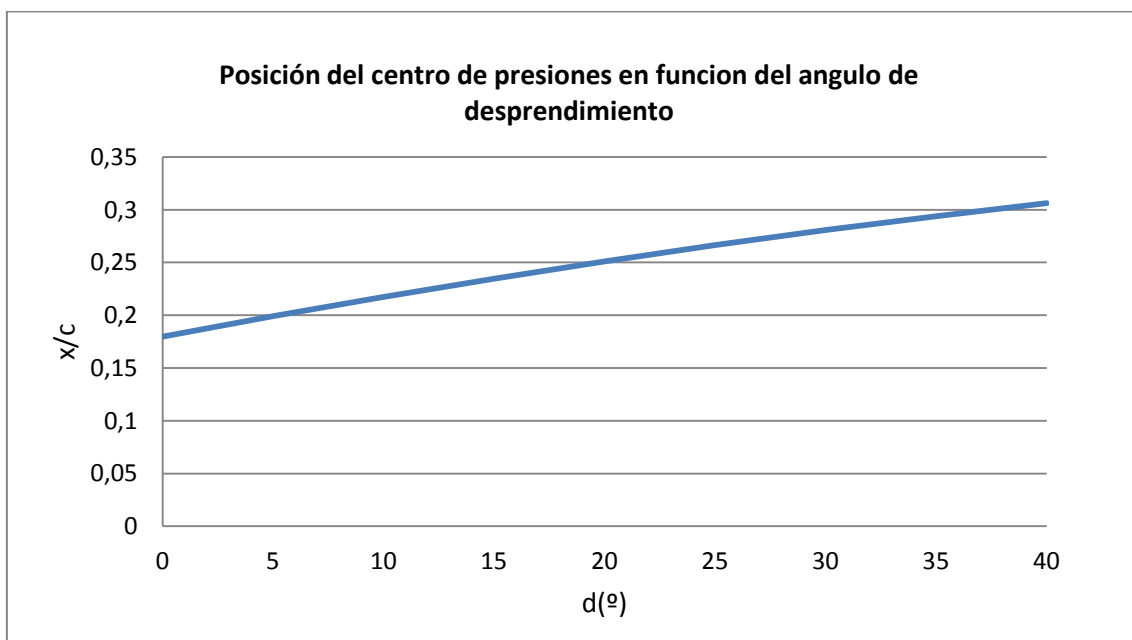
5.8.1. Posición del centro de presiones marcha adelante

La posición longitudinal viene definida por la expresión:

$$x/c = (1 - Ad)(B + Cd)$$

Donde:

- x: distancia del centro de presión al borde de entrada del perfil.
- c: cuerda del perfil.
- d: ángulo de giro del timón (°).
- $A = 0,00428$
- $B = \frac{2,166 \cdot E \cdot \Gamma}{(2,25 + \Gamma) \cdot \left(1 + 0,664 \cdot \left(1 - e^{-0,375 \frac{K_T}{J^2}}\right)\right)} = 0,1798$
- $C = 0,01 \cdot \left(1,268 - 3,6 \cdot E - 0,0083 \frac{K_T}{J^2}\right) = 0,00474$



Como puede apreciarse en la gráfica, el centro de presiones se desplaza hacia popa cuando aumenta el ángulo de giro.



5.8.2. Posición del centro de presiones ciando

Cuando el buque está ciando, el flujo que encuentra el timón es prácticamente uniforme y la posición del centro de presiones puede considerarse independiente del ángulo de giro:

$$\frac{x}{c} = \frac{0,71 \cdot \Gamma}{\Gamma + 0,224} \cdot (1 + 0,158E) = 0,6392$$

5.9. Par resistente en la mecha del timón

Su valor se determina mediante la siguiente expresión:

$$Q_{MECHA} = F_N \cdot \left[\frac{x}{c} - \frac{x_0}{c} \right] \cdot c$$

Siendo:

- F_N : fuerza normal a la pala del timón, expresable en función de la componente transversal, como ya vimos en el apartado 4.2.3, según:

$$F_N = \frac{F_T}{1 - 0,00286 \cdot d}$$

Donde;

$$F_T = 0,5 \cdot \rho_{AS} \cdot A_R \cdot V^2 \cdot C_{FT}$$

Siendo C_{FT} un coeficiente expresable en función de d según:

$$\frac{C_{FT}}{d} = \frac{2\pi \cdot \Gamma}{\Gamma + 2,55} \left(1 - 0,35 \frac{t}{c} \right) \left(1 + \frac{8K_T D}{\pi J^2 h} \right) \frac{C_B + 0,3}{1 + 1,214 \cdot \left(1 - e^{\frac{-0,3K_T}{J^2}} \right)}$$

- x : distancia del centro de presión al borde de entrada.
- x_0 : distancia del eje de la mecha al borde de entrada.
- c : Cuerda del timón



Sustituyendo los valores conocidos, podemos expresar el par en función del ángulo de giro del timón y de la distancia del eje de la mecha del timón al borde de entrada:

$$Q_{MECHA} = \frac{372646 \cdot d}{[1 - 0,00286 \cdot d]} \left[(1 - 0,00428 \cdot d)(0,1798 + 0,00474 \cdot d) - \frac{x_0}{3,2} \right] \cdot 3,2$$

5.10. Área de compensación

La superficie de compensación permite minimizar el tamaño del servomotor. Afecta al par sobre la mecha del timón, pues este es menor cuanto más cerca esté el centro de presiones del eje de giro.

Para conseguir minimizar el tamaño del servo, debemos hallar el valor de x_0 que, para un ángulo de 35° (suponemos que el timón rara vez girará un ángulo mayor que este valor), produzca un máximo relativo en la curva par-ángulo obtenida en el apartado anterior.

Para ello derivamos con respecto a " d " la expresión obtenida en el apartado anterior e igualamos a 0.

$$\frac{\partial Q_{MECHA}}{\partial d} = 0 \Rightarrow x_0 = 1,098m$$

Para determinar el área de compensación multiplicamos el valor anterior por la altura del timón:

$$A_c = x_0 \cdot h = 5,27 m^2$$

5.11. Obtención de las dimensiones del timón

Partiendo del timón del buque base y respetando las proporciones entre sus dimensiones, se han modificado ligeramente las formas ajustándolas a los valores obtenidos en los apartados anteriores.

Se comprueba que la longitud media de la parte compensada no supera el 35%, quedándose en un 34%. Consecuentemente, la superficie compensada supone un 34% del área proyectada del timón.



5.12. Validez del timón obtenido

Debemos comprobar que el timón resultado de nuestros cálculos cumple con las condiciones impuestas por la reglamentación vigente.

5.12.1. Diámetro de giro

Podemos calcularlo a partir de la expresión:

$$D_0 = L_{pp} \left(0,727 - 197 \frac{C_b}{d} + 4,65 \frac{B}{L_{pp}} + 41 \frac{Trim}{L_{pp}} + \frac{188}{d} - 218 \frac{A_R}{L_{pp} \cdot T} (N - 1) + 1,77 \frac{V}{L_{pp}^{0,5}} + 25,66 \frac{A_B}{L_{pp} \cdot T} \right)$$

$$D_0 = 160 \times 3,91 = 626,26m.$$

Donde:

- Trim: trimado del buque.
- N: nº de timones.
- AR: Área proyectada de cada timón.
- AB: Área proyectada sobre crujía del bulbo de proa.
- V: Velocidad del buque en nudos.

El resultado obtenido es inferior que el máximo permisible, el cual hemos calculado en el apartado 5.4.1, el cual es, 688m.

5.12.2. Diámetro de evolución

Su valor también debe ser inferior que el diámetro de evolución máximo, el cual, podemos calcular sustituyendo en la formula siguiente, el diámetro de giro máximo determinado anteriormente.

$$D_T = 0,14 \cdot L_{pp} + D_0 = 648,66m.$$

Como podemos observar, también obtenemos un valor aceptable, debido a ser menor que el diámetro de evolución máximo ($D_{T \text{ MAX. }} = 710,4m.$).



5.12.3. Avance estimado

Debe ser menor que el valor del avance máximo hallado anteriormente en el apartado 5.4.2 ($Av_{max.}=641,6m$). Podemos calcularlo mediante la expresión:

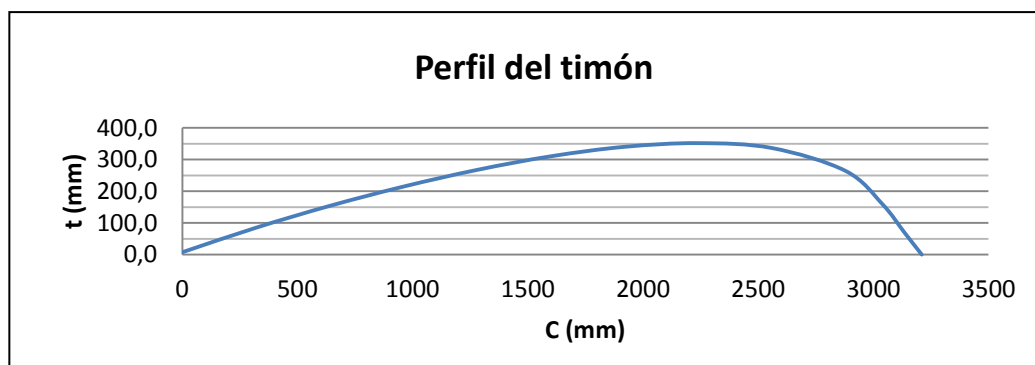
$$Av = L_{pp} \left(0,514 \frac{D_T}{L_{pp}} + 1,10 \right) = 509,4m.$$

También es inferior al máximo fijado inicialmente.

5.13. Perfil del timón

Se ha seleccionado el perfil NACA 0023, que alcanza el máximo espesor al 70% de la cuerda desde el borde de popa del perfil. El perfil tendrá la siguiente ley de distribución de espesores:

% C máx.	C (mm)	% t máx	t(mm)	t/2 (mm)
(Popa) 0	0	2,1	14,8	7,4
10	320	24,1	169,7	84,8
20	640	43,7	307,6	153,8
30	960	61	429,4	214,7
40	1280	76	535,0	267,5
50	1600	88,2	620,9	310,5
60	1920	96,7	680,8	340,4
70	2240	100	704,0	352,0
80	2560	95,6	673,0	336,5
90	2880	75	528,0	264,0
95	3040	45,1	317,5	158,8
98	3136	19,5	137,3	68,6
(Proa) 100	3210	0	0,0	0,0





5.14. Cálculo del servomotor

El servo debe ser capaz de pasar el timón de 35° a una banda a 35° de la otra banda en 28 segundos como máximo.

$$\omega = \frac{(35 + 35) \frac{\pi}{180}}{28} = 0.0436 \text{ rad/s}$$

Según el Bureau Veritas, la fuerza sobre el timón es para A=15.45 m² y V=26 nudos:

$$F = 12A(V+2)^2 = 145354 \text{ Kg}$$

El brazo de palanca es el mayor de los siguientes valores:

$$l_{av} = 0.34c - x_0$$

$$l_{ar} = (0.7c - x_0) \left(\frac{0.45V + 2}{V + 2} \right)^2$$

$$l_{ar} = 0.273 \text{ m.}$$

El par en la mecha:

$$Q = Fl_{ar} = 144507 \times 0.273 = 39682 \text{ Kgm.}$$

Se considerará un incremento de seguridad de un 5%, por lo que el par a considerar será del 41666 Kgm.

$$\text{Potencia del servo} = Q\omega = 1817 \text{ Kgm/s} = 23.9 \text{ hp}$$

Suponiendo un rendimiento de la bomba del servo del 65%, la potencia que debe tener la bomba es:

$$N = 23.9 / 0.65 = 36.77 \text{ hp} = 27.44 \text{ Kw}$$

Luego, la potencia total requerida para los servomotores es de 55 Kw, dicha potencia se debe entender como potencia mínima.



6. Cálculo de las hélices de maniobra

Para situar y dimensionar las hélices de maniobra de las que dispondrá nuestro buque proyecto tendremos en cuenta lo siguiente:

- Estarán situadas a popa del mamparo de colisión, pero lo más a proa posible para conseguir optimizar el rendimiento.
- La longitud de los túneles debe estar comprendida entre una y dos veces el diámetro de la hélice de maniobra, comportándose más eficientemente cuanto mayor es la longitud.
- La distancia del túnel a la línea base no debe ser inferior al diámetro de la hélice de maniobra.
- La distancia mínima del eje del túnel al calado de carga, incluyendo la condición de lastre, debe ser, al menos, el diámetro de la hélice de maniobra. La fórmula de Hawkins permite obtener el empuje de las hélices:

$$E = \frac{w_0 \cdot L_{pp}^3 \cdot T}{M_0^2}$$

Donde:

- L_{pp} y T deben estar expresados en pies.
- w_0 es el régimen de giro a buque parado (θ/s). Existen gráficas obtenidas experimentalmente que lo relacionan con el desplazamiento. En nuestro caso tomará aproximadamente el valor 0,31.
- M_0 es una constante del régimen de rotación. Puede obtenerse a partir del punto de aplicación de la fuerza transversal que originará el giro y de la eslora entre perpendiculares. Se toma un valor igual a 165.

Sustituyendo los valores conocidos obtenemos el empuje que deben proporcionar las hélices:

$$E = 32422 \text{ kgf} = 318 \text{ kN}$$

Para poder contar con el empuje calculado el buque proyecto dispondrá de dos hélices de maniobra, capaces de proporcionar cada una un empuje de 159kN. El diámetro de los túneles será de 2m, valor del orden del utilizado en el buque base, y que permite cumplir con las condiciones enumeradas anteriormente.



Los propulsores que operan en tubos cuentan con un rendimiento aproximado de 0,145 kN/kW, es decir, cada 1 kW del motor que mueve la hélice proporciona 0,145 kN de empuje. A partir de esta relación podemos deducir la potencia que precisan los propulsores: $2 \times 10^9 \text{ kW}$.

Considerando el rendimiento del motor eléctrico, que ronda el 95%, se obtiene la potencia eléctrica necesaria por hélice: **1155kW**.



Anexo 1.

h/H	h	$\Gamma(h/c)$	AR	AR/Aderiva	E (t/c)								
					0.15	0.16	0.17	0.18	0.19	0.2	0.21	0.22	0.23
					ds(°)								
0.76	4.41	1.4	13.88	1.45%	28.58	29.56	30.53	31.51	32.48	33.46	34.43	35.41	36.39
0.77	4.47	1.4	14.25	1.48%	28.96	29.94	30.93	31.92	32.91	33.90	34.89	35.88	36.87
0.78	4.52	1.4	14.62	1.52%	29.33	30.33	31.33	32.34	33.34	34.34	35.34	36.34	37.34
0.79	4.58	1.4	15.00	1.56%	29.71	30.72	31.74	32.75	33.76	34.78	35.79	36.81	37.82
0.8	4.64	1.4	15.38	1.60%	30.08	31.11	32.14	33.17	34.19	35.22	36.25	37.27	38.30
0.81	4.70	1.4	15.77	1.64%	30.46	31.50	32.54	33.58	34.62	35.66	36.70	37.74	38.78
0.82	4.76	1.4	16.16	1.68%	30.84	31.89	32.94	33.99	35.05	36.10	37.15	38.21	39.26
0.83	4.81	1.4	16.55	1.72%	31.21	32.28	33.34	34.41	35.47	36.54	37.61	38.67	39.74
0.84	4.87	1.4	16.95	1.77%	31.59	32.67	33.74	34.82	35.90	36.98	38.06	39.14	40.22

h/H	h	$\Gamma(h/c)$	AR	AR/Aderiva	E (t/c)								
					0.15	0.16	0.17	0.18	0.19	0.2	0.21	0.22	0.23
					ds(°)								
0.76	4.41	1.5	12.95	1.35%	27.68	28.63	29.57	30.52	31.46	32.41	33.35	34.30	35.24
0.77	4.47	1.5	13.30	1.39%	28.04	29.00	29.96	30.92	31.88	32.83	33.79	34.75	35.71
0.78	4.52	1.5	13.64	1.42%	28.41	29.38	30.35	31.32	32.29	33.26	34.23	35.20	36.17
0.79	4.58	1.5	14.00	1.46%	28.77	29.76	30.74	31.72	32.70	33.69	34.67	35.65	36.63
0.8	4.64	1.5	14.35	1.50%	29.14	30.13	31.13	32.12	33.12	34.11	35.11	36.10	37.10
0.81	4.70	1.5	14.71	1.53%	29.50	30.51	31.52	32.52	33.53	34.54	35.55	36.55	37.56
0.82	4.76	1.5	15.08	1.57%	29.87	30.89	31.91	32.93	33.95	34.96	35.98	37.00	38.02
0.83	4.81	1.5	15.45	1.61%	30.23	31.26	32.29	33.33	34.36	35.39	36.42	37.46	38.49
0.84	4.87	1.5	15.82	1.65%	30.59	31.64	32.68	33.73	34.77	35.82	36.86	37.91	38.95



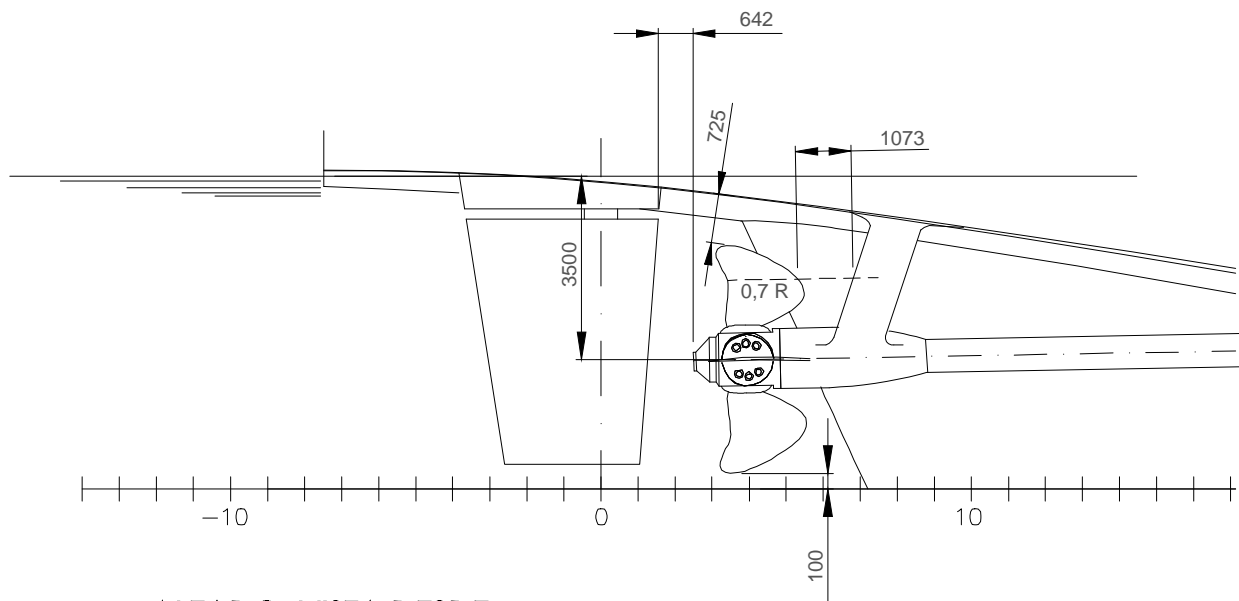
h/H	h	$\Gamma(h/c)$	AR	AR/Aderiva	E (t/c)								
					0.15	0.16	0.17	0.18	0.19	0.2	0.21	0.22	0.23
					ds(°)								
0.76	4.41	1.6	12.14	1.27%	26.89	27.81	28.73	29.65	30.57	31.49	32.40	33.32	34.24
0.77	4.47	1.6	12.47	1.30%	27.25	28.18	29.11	30.04	30.97	31.90	32.83	33.76	34.69
0.78	4.52	1.6	12.79	1.33%	27.60	28.54	29.49	30.43	31.37	32.31	33.26	34.20	35.14
0.79	4.58	1.6	13.12	1.37%	27.96	28.91	29.86	30.82	31.77	32.73	33.68	34.64	35.59
0.8	4.64	1.6	13.46	1.40%	28.31	29.28	30.24	31.21	32.18	33.14	34.11	35.08	36.04
0.81	4.70	1.6	13.79	1.44%	28.66	29.64	30.62	31.60	32.58	33.56	34.54	35.51	36.49
0.82	4.76	1.6	14.14	1.47%	29.02	30.01	31.00	31.99	32.98	33.97	34.96	35.95	36.94
0.83	4.81	1.6	14.48	1.51%	29.37	30.37	31.38	32.38	33.38	34.39	35.39	36.39	37.39
0.84	4.87	1.6	14.84	1.55%	29.73	30.74	31.76	32.77	33.79	34.80	35.82	36.83	37.85

h/H	h	$\Gamma(h/c)$	AR	AR/Aderiva	E (t/c)								
					0.15	0.16	0.17	0.18	0.19	0.2	0.21	0.22	0.23
					ds(°)								
0.76	4.41	1.7	11.43	1.19%	26.20	27.09	27.99	28.88	29.78	30.67	31.57	32.46	33.36
0.77	4.47	1.7	11.73	1.22%	26.55	27.45	28.36	29.26	30.17	31.08	31.98	32.89	33.80
0.78	4.52	1.7	12.04	1.25%	26.89	27.81	28.73	29.64	30.56	31.48	32.40	33.32	34.24
0.79	4.58	1.7	12.35	1.29%	27.23	28.16	29.09	30.02	30.95	31.88	32.81	33.74	34.67
0.8	4.64	1.7	12.66	1.32%	27.58	28.52	29.46	30.40	31.35	32.29	33.23	34.17	35.11
0.81	4.70	1.7	12.98	1.35%	27.92	28.88	29.83	30.78	31.74	32.69	33.64	34.60	35.55
0.82	4.76	1.7	13.31	1.39%	28.27	29.23	30.20	31.16	32.13	33.10	34.06	35.03	35.99
0.83	4.81	1.7	13.63	1.42%	28.61	29.59	30.57	31.54	32.52	33.50	34.48	35.45	36.43
0.84	4.87	1.7	13.96	1.45%	28.96	29.95	30.94	31.92	32.91	33.90	34.89	35.88	36.87

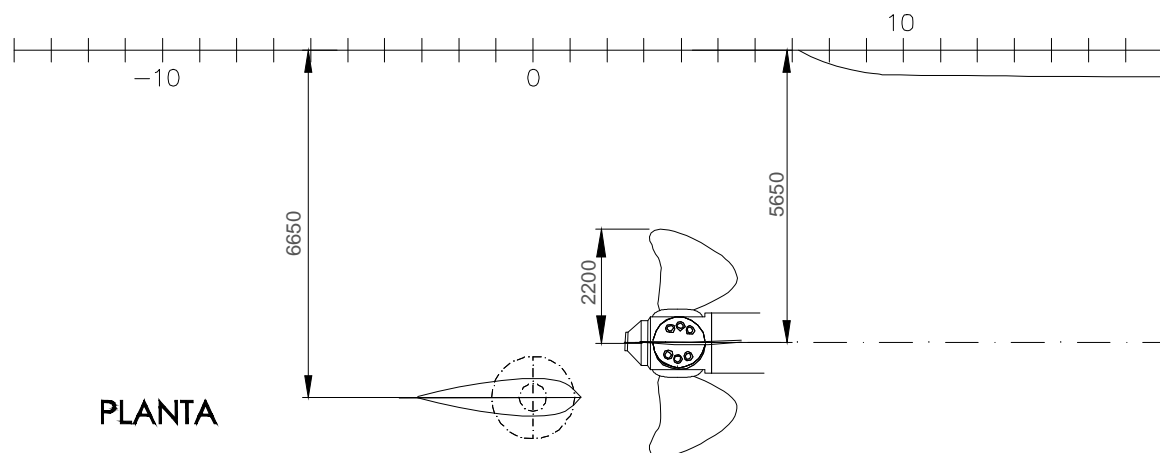


Anexo 2.

“Perfil del timón y la hélice.”



ALZADO. VISTA DESDE
ESTRIBOR



PLANTA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS NAVALES

PROYECTO FIN DE CARRERA

TIPO DE BOCAL:

ROPAX 4000 TPM

NÚMERO DE PROYECTO:

PROYECTO 034

DENOMINACIÓN:

PERFIL HÉLICE Y TIMÓN

FORMATO:

DIN-A4

ESCALA:

PLANO N°:

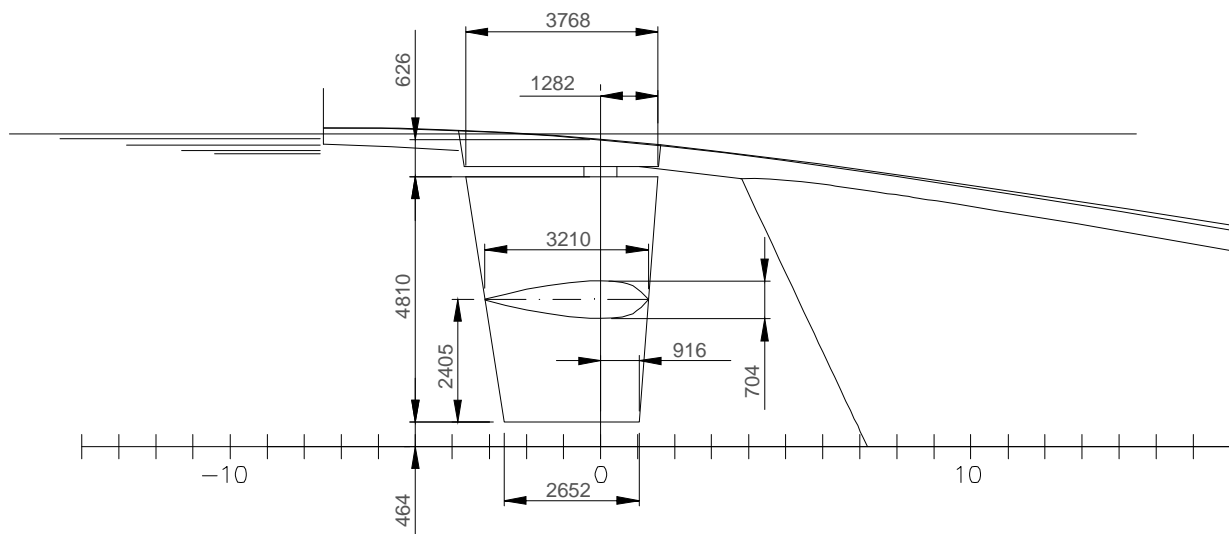
1/2

TUTOR:

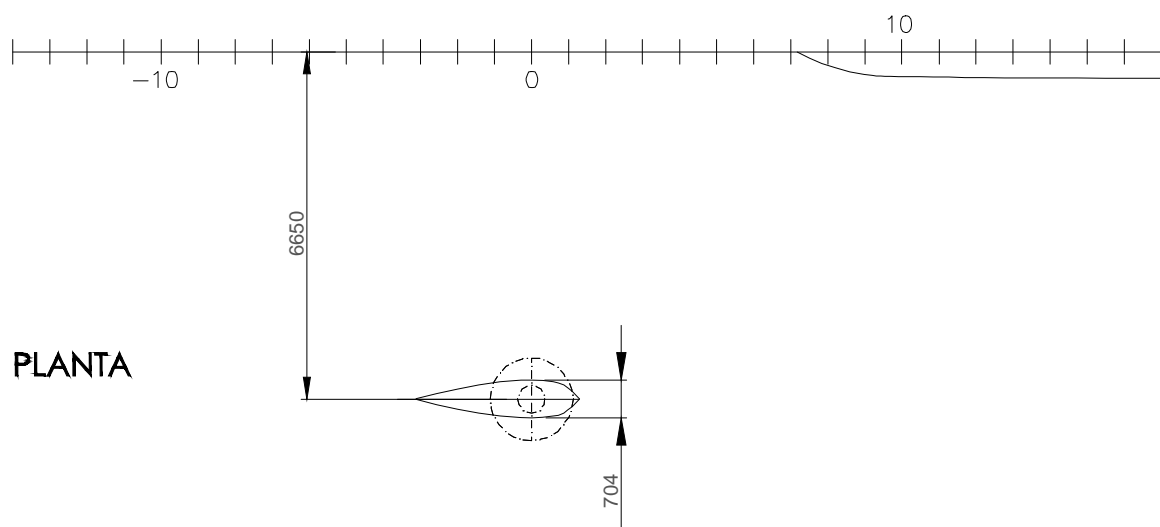
JOSÉ MARÍA RIOLA RODRÍGUEZ

ALUMNO:

FRANCISCO SASTRE GUASCH



ALZADO. VISTA DESDE
ESTRIBOR



PLANTA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS NAVALES

PROYECTO FIN DE CARRERA

TIPO DE BQUE:

ROPAX 4000 TPM

NÚMERO DE PROYECTO:

PROYECTO 034

DENOMINACIÓN:

PERFIL HÉLICE Y TIMÓN

FORMATO:

DIN-A4

ESCALA:

PLANO N°:

2/2

TUTOR:

JOSÉ MARÍA RIOLA RODRÍGUEZ

ALUMNO:

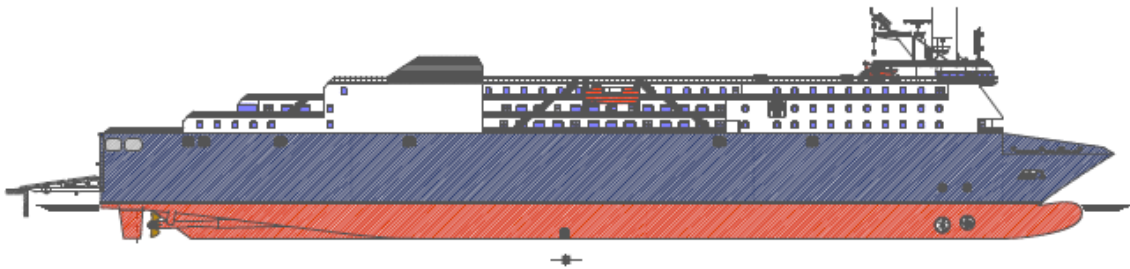
FRANCISCO SASTRE GUASCH



Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales

Proyecto Fin de Carrera nº034

ROPAX 4000 TPM



Cuaderno 7

Cámara de Máquinas

Tutor:

José María Riola Rodríguez

Alumno:

Francisco Sastre Guasch



Índice

1. INTRODUCCIÓN	7
2. EQUIPO PROPULSOR	8
2.1. Elección de los motores principales (MMPP).....	8
2.2. Características de los motores principales.....	9
2.3. Descripción de los motores principales	14
2.4. Interacción hélice-motor.....	16
2.5. Reductora y chumacera de empuje	17
2.6. Línea de ejes.....	17
2.6.1. Ejes intermedios.....	17
3. GRUPOS GENERADORES AUXILIARES.....	18
3.1. Motores auxiliares (MMAA).....	18
3.2. Generadores de cola (PTOs).....	19
3.3. Grupo de emergencia.....	20
4. AUTONOMÍA Y CONSUMO DE COMBUSTIBLE	21
4.1. Consumo y capacidad de almacenamiento de HFO.....	21
4.1.1. Consumo de HFO de los motores principales	21
4.1.2. Consumo de HFO de los motores auxiliares	22
4.1.3. Consumo de las calderas	22
4.1.4. Capacidad de almacenamiento de HFO	22
4.2. Consumo y capacidad de almacenamiento de MDF	22
5. SERVICIO DE COMBUSTIBLE	23
5.1. Propiedades del combustible	23
5.1.1. Heavy Fuel Oil (HFO)	23
5.1.2. Marine Diesel Fuel (MDF).....	23
5.2. Sistema de alimentación de los motores principales.....	24
5.2.1. Esquema y descripción del sistema.....	24
5.2.2. Unidad de alimentación	25
5.2.3. Bombas de alimentación de combustible	27
5.2.4. Válvula de control de presión	27



5.2.5. Filtro automático.....	27
5.2.6. Caudalímetro.....	28
5.2.7. Tanque de desaireación	28
5.2.8. Bomba de circulación	28
5.2.9. Precalentador	28
5.2.10. Viscosímetro.....	29
5.3. Sistema de alimentación de los motores auxiliares	29
5.4. Sistema de trasiego y purificación	30
5.4.1. Esquema y descripción del sistema.....	30
5.4.2. Tanques de servicio diario de HFO	31
5.4.3. Tanques de sedimentación de HFO.....	31
5.4.4. Tanques almacén de HFO.....	31
5.4.5. Bombas de trasiego de HFO	32
5.4.6. Unidad separadora de combustible	32
5.4.7. Filtro de aspiración.....	33
5.4.8. Bomba de alimentación de la separadora	33
5.4.9. Precalentador de la separadora de HFO	34
5.4.10. Separadora de HFO	34
5.4.11. Tanque de lodos.....	35
5.4.12. Tanque de reboses de HFO	35
5.4.13. Tanques de servicio de MDF	35
5.4.14. Tanque almacén de MDF	35
5.4.15. Separadora de MDF.....	35
5.4.16. Precalentador de la separadora de MDF	36
5.4.17. Bombas de trasiego de MDF	36
6. SERVICIO DE ACEITE LUBRICANTE	37
6.1. Propiedades del aceite lubricante.....	37
6.2. Sistema de aceite de lubricación de los motores principales	37
6.2.1. Esquemas y descripción	37
6.2.2. Bomba de lubricación.....	40
6.2.3. Bomba de prelubricación	40
6.2.4. Bomba de lubricación de respeto	40



6.2.5. Resto de elementos del circuito interno	41
6.2.6. Tanques de servicio de aceite	41
6.2.7. Tanques almacén de aceite	41
6.2.8. Bombas de trasiego de aceite	41
6.2.9. Tanque de aceite sucio	42
6.2.10. Unidad separadora de aceite	42
6.2.11. Bomba de alimentación	42
6.2.12. Precalentador	42
6.2.13. Separadora de aceite	43
6.2.14. Tanque de lodos	43
6.2.15. Enfriadores de aceite lubricante	43
6.2.16. Válvula termostática	44
6.3. Sistema de aceite de lubricación de los motores auxiliares	45
7. SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO	46
7.1. Descripción	46
7.2. Sistema interno de aire comprimido	46
7.2.1. Esquema y descripción del sistema	46
7.3. Sistema externo de aire comprimido	48
7.3.1. Esquema y descripción del sistema	48
7.3.2. Compresores de aire de arranque	49
7.3.3. Compresor de emergencia	49
7.3.4. Separadores de agua y aceite	49
7.3.5. Botellas de aire de arranque	49
7.3.6. Botella de aire comprimido para servicios técnicos	50
7.3.7. Filtro de aire de arranque	50
8. SISTEMA DE EXHAUSTACIÓN	51
8.1. Sistema de exhaustación de los motores principales	51
8.1.1. Descripción	51
8.1.2. Conducto de exhaustación	52
8.1.3. Caldereta de gases de escape	52
8.1.4. Silenciadores	53
8.2. Sistema de exhaustación de los motores auxiliares	53



9. SISTEMA DE VENTILACIÓN	54
9.1. Sistema de ventilación de espacios de máquinas	54
9.1.1. Descripción	54
9.1.2. Ventilación de los locales de cámara de máquinas.....	55
9.1.3. Ventilación del resto de espacios de máquinas	58
9.2. Ventilación de las zonas de carga	58
9.3. Ventilación de espacios de habitación	59
10. SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO	60
10.1. Descripción de la instalación.....	60
10.2. Agrupación de los espacios a acondicionar	61
10.3. Calefacción	62
10.4. Refrigeración	63
10.5. Ventiladores	68
10.5.1. Impulsión.....	68
10.5.2. Extracción	69
11. SISTEMA DE AGUA DE REFRIGERACIÓN	70
11.1. Propiedades del agua dulce utilizada.....	70
11.2. Subsistema interno de refrigeración de los MMPP	71
11.2.1 Esquema y descripción de la instalación.....	71
11.3. Subsistema externo de refrigeración.....	73
11.3.1. Esquema y descripción de la instalación.....	73
11.3.2. Bombas de circulación de agua dulce de respeto de los MMPP.....	75
11.3.3. Bombas de circulación de agua salada.....	75
11.3.4. Válvula termostática del circuito de HT	75
11.3.5. Válvulas termostáticas del circuito de LT.....	75
11.3.6. Válvula termostática para recuperación de calor	75
11.3.8. Recuperación de calor. Generación de agua dulce.....	75
11.3.9. Venteo de aire.....	76
11.3.10. Tanque de expansión	76
11.3.11. Tanque de drenajes.....	76
11.3.12. Precalentadores de cilindros de los motores.....	76
12. SERVICIO DE VAPOR	77



12.1. Descripción	77
12.2. Balance de vapor	79
12.2.1. Datos a considerar.....	79
12.2.2. Pérdidas de calor de los tanques	80
12.2.3. Calor necesario para elevar la temperatura de los tanques	81
12.2.4. Desarrollo del balance de vapor	81
12.2.5. Calentadores de HFO de los motores principales	82
12.2.6. Calentadores de HFO de los motores auxiliares	82
12.2.7. Calentadores de vapor de las depuradoras de HFO.....	83
12.2.8. Calentador de vapor de la depuradora de MDF	83
12.2.9. Calentadores de vapor de las depuradoras de aceite de los MMPP	84
12.2.10. Calentadores de vapor de las depuradoras de aceite de los MMAA	84
12.2.11. Calentadores de vapor de los colectores de retorno de los MMPP	84
12.2.12. Calentadores de vapor de los tanques de desaireación de las unidades de alimentación de combustible	85
12.2.13. Precalentadores de agua dulce de los cilindros de los MMPP.....	85
12.2.14. Precalentadores de agua dulce de los cilindros de los MMAA	85
12.2.15. Calentador de agua dulce sanitaria.....	86
12.2.16. Servicio de hotel.....	86
12.2.17. Calentadores de aire acondicionado de habitación	86
12.3. Balance de vapor	87
12.4. Planta generadora de vapor.....	88
12.4.1. Dimensionamiento de la planta generadora de vapor	88
13. CÁMARA DESATENDIDA	90
14. OTROS ESPACIOS	92
14.1. Taller.....	92
14.2. Pañoles de máquinas	92
Anexo 1. Cálculos de ventilación de los espacios de carga	93
Anexo 2. Cálculos de las pérdidas y elevación de la temp. de los tanques.....	94



1. INTRODUCCIÓN

En este cuaderno se describirá por una parte, los elementos principales que conforman la cámara de máquinas, y por otra parte los principales sistemas que abastecen a los equipos propulsores y los grupos electrógenos, los cuales son:

- Servicio de combustible.
- Servicio de aceite lubricante.
- Servicio de aire comprimido.
- Sistema de exhaustación.
- Sistema de ventilación de espacios de máquinas.
- Sistema de refrigeración por agua dulce y agua salada.
- Servicio de vapor.



2. EQUIPO PROPULSOR

2.1. Elección de los motores principales (MMPP)

En el cuaderno nº 6 se obtuvo la potencia necesaria a instalar a bordo, 34647 kW. Considerándose la elección de cuatro motores semirápidos, dos por línea de ejes. Dicha solución facilita una mayor subdivisión de potencia, la cual, permite disponer de una planta con diversos regímenes de funcionamiento, ideal para buques destinados a un tipo de operación en el que sean necesarias distintas velocidades.

La selección de los motores se lleva a cabo considerando los siguientes criterios:

- Potencia suministrada. Deberá ser mayor que la que hemos determinado.
- Empacho y desmontaje del motor. La decisión de que la planta propulsora se componga de dos motores viene motivada por la poca altura de la cámara de máquinas y la eslora de los compartimentos de máquinas, limitada por razones de estabilidad. Se tendrá en cuenta que se disponga de suficiente espacio para poder desmontar durante la navegación algunos de los elementos del motor, como camisas y cilindros.
- Peso. El peso de los motores principales se debe intentar minimizar para reducir el peso en rosca y, por tanto, la resistencia al avance. Sin embargo, también debe tenerse en cuenta que una reducción del peso puede conllevar un aumento del consumo específico.
- Combustible utilizado y consumo. Interesa que el motor funcione con combustible pesado, dado que ello permitirá reducir los costes de explotación.
- Mantenimiento. Es uno de los aspectos importantes a la hora de estudiar los costes de explotación del motor. La disposición de los cilindros debe tenerse en cuenta, dado que motor en V implica mayores costes de mantenimiento.
- Capacidad de la empresa constructora del motor de proveer repuestos y calidad del servicio postventa.
- Precio. La planta propulsora supone un fuerte desembolso inicial y unos costes de explotación derivados del consumo y el mantenimiento que habrá que estudiar.
- Emisiones contaminantes. EL motor debe cumplir con la normativa vigente.

Después de todo lo mencionado, se decide optar por el modelo 12V38 de Wartsila, con una potencia de placa de 8700kW (725 kW por cilindro) a 600 rpm.



2.2. Características de los motores principales

Propiedades físicas	
Nº cilindros	12
Disposición	V
RPM	600
Potencia cilindro (kW/cil)	725
Potencia motor (kW)	8700
Presión media efectiva (MPa)	2,7
Diámetro cilindro (mm)	380
Carrera cilindro (mm)	475
Nº de válvulas	2 de admisión y 2 de exhaustación
Velocidad media del pistón (m/s)	9,5

Sistema de aire de admisión	
Flujo másico al 100% de la carga (kg/s)	15,22
Temperatura máxima de entrada a la turbosoplante (°C)	45
Temperatura del aire después del enfriador (°C)	50

Sistema de gases de exhaustación	
Flujo másico al 100% de la carga (kg/s)	15,7
Flujo másico al 85% de la carga (kg/s)	15,19
Flujo másico al 75% de la carga (kg/s)	13,83
Flujo másico al 50% de la carga (kg/s)	9,72
Temperatura después de la turbosoplante, 100% carga (°C)	389
Temperatura después de la turbosoplante, 85% carga (°C)	309
Temperatura después de la turbosoplante, 75% carga (°C)	307
Temperatura después de la turbosoplante, 50% carga (°C)	323
Depresión máxima (kPa)	3
Diámetro conducto exhaustación (mm)	900
Diámetro calculado para v=35m/s (mm)	1032



Balance térmico	
Agua de camisas (circuito alta temperatura) (kW)	1001
Aire de carga (circuito alta temperatura) (kW)	1663
Aire de carga (circuito baja temperatura) (kW)	1042
Aceite lubricante (circuito baja temperatura) (kW)	770
Radiación	340

Sistema de combustible	
Presión antes de las bombas de inyección (kPa)	700
Viscosidad HFO antes del motor (cSt)	16...24
Viscosidad MDF, mínima (cSt)	2
Temperatura máxima HFO antes del motor (°C)	<140
Temperatura máxima MDF antes del motor (°C)	<45
Consumo de combustible al 100% de la carga (g/kWh)	183
Consumo de combustible al 85% de la carga (g/kWh)	180
Consumo de combustible al 75% de la carga (g/kWh)	180
Consumo de combustible al 50% de la carga (g/kWh)	186
Fugas limpias de combustible MDF, al 100% de la carga (kg/h)	2,2
Fugas limpias de combustible HFO, al 100% de la carga (kg/h)	22,3

Sistema de aceite lubricante	
Presión antes de los cojinetes (kPa)	450
Máxima capacidad de aspiración, incluyendo pérdidas en tuberías (kPa)	40
Presión nominal de cebado (kPa)	50
Temperatura nominal antes de los cojinetes (°C)	63
Temperatura después del motor, aprox. (°C)	79
Capacidad de la bomba de lubricación (m3/h)	142
Caudal de aceite a través del motor (m3/h)	102
Capacidad la bomba de prelubricación (m3/h)	27/33
Volumen de aceite en tanque independiente (m3)	7,9
Consumo de aceite al 100% de la carga (g/kWh)	0,7
Flujo ventilación cárter a plena carga (L/min/cyl)	210
Contrapresión máxima de ventilación del cárter (kPa)	0,2



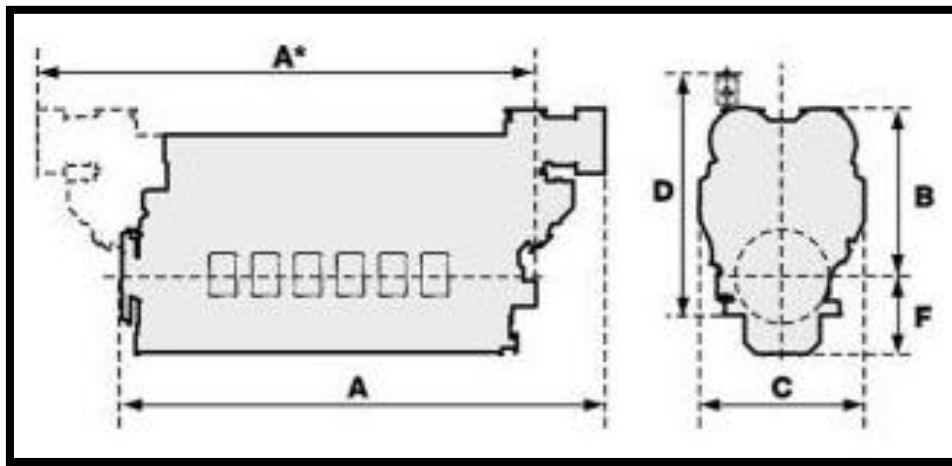
Sistema de refrigeración de agua de alta temperatura	
Presión nominal en el motor, después de la bomba (kPa)	380 + Estática
Presión máxima en el motor, después de la bomba (kPa)	460 + Estática
Temperatura aproximada antes de los cilindros (°C)	73
Temperatura aproximada después de los cilindros (°C)	93
Capacidad nominal de la bomba (m3/h)	132
Caída de presión total (kPa)	180
Caída máxima de presión en sistema externo (kPa)	160
Presión de tanque de expansión (kPa)	70...150
Volumen de agua en el motor (m3)	0.4

Sistema de refrigeración de agua de baja temperatura	
Presión nominal en el motor, después de la bomba (kPa)	340+Estática
Presión máxima en el motor, después de la bomba (kPa)	460+Estática
Temperatura antes del motor (máx) (°C)	38
Temperatura después del motor (mín) (°C)	44
Capacidad nominal de la bomba (m3/h)	168
Caída de presión máxima en sistema externo (kPa)	120
Presión del tanque de expansión (kPa)	70...150

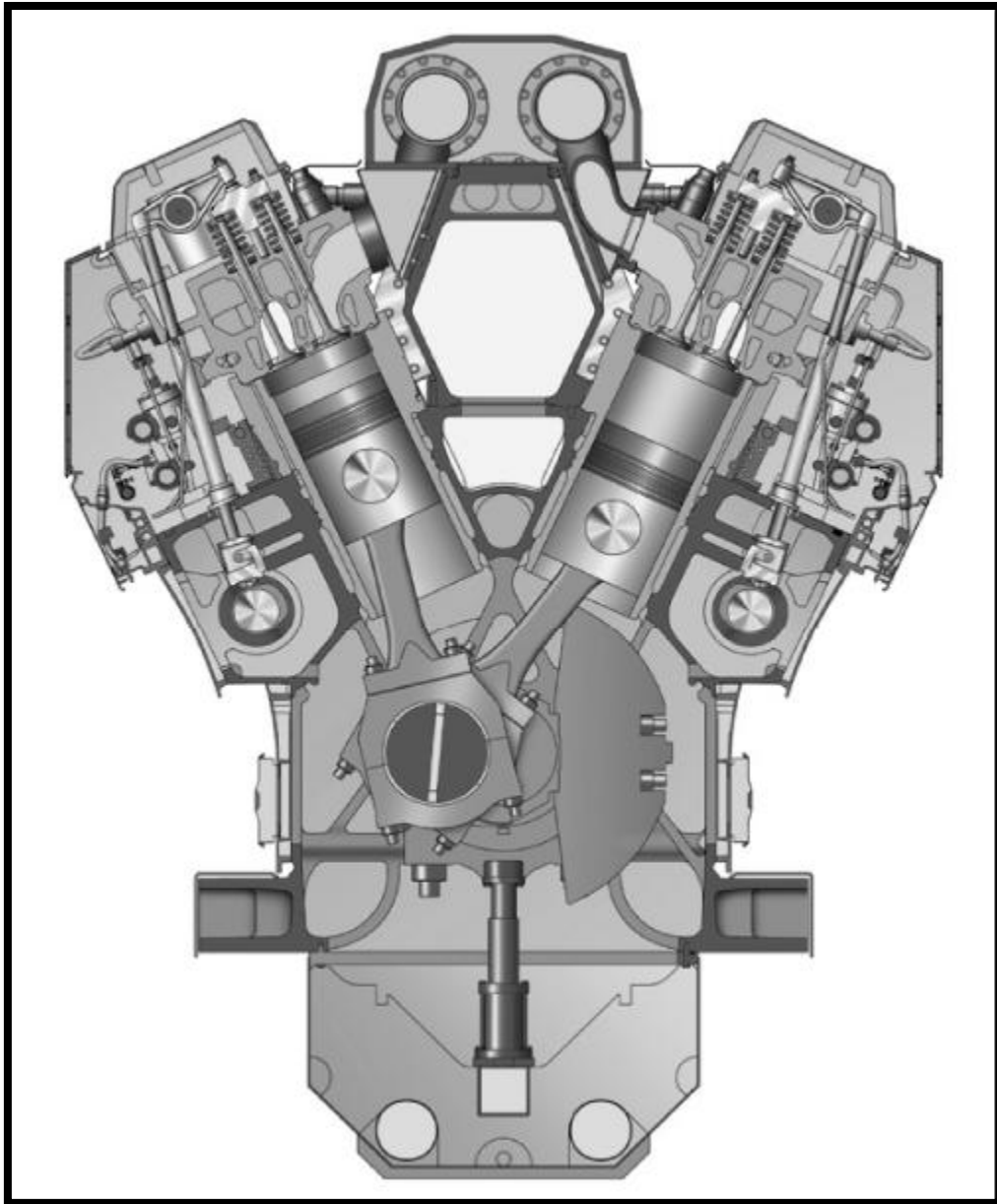
Sistema de aire de arranque	
Presión nominal (kPa)	3000
Presión en el motor durante el arranque (mín 20°C) (kPa)	1200
Presión máxima (kPa)	3000
Presión mínima en botellas de aire de arranque (kPa)	1800
Consumo por arranque a 20°C (manual) (Nm3)	4.7
Consumo por arranque a 20°C (con slowturn) (Nm3)	6.7

Dimensiones y peso

Dimensiones (mm) y pesos (ton.)							
A*	A	B*	B	C	D	F	Peso
7 461	7 344	3 080	3 080	3 030	2 855	1 435	88



Sección transversal del motor





2.3. Descripción de los motores principales

La última tecnología aplicada a este modelo hace que el Wärtsilä 38 sea considerado uno de los motores más ligeros y compactos, de alta resistencia existentes en el mercado. Entre sus principales cualidades destacan:

- Configuración del conjunto con menos piezas.
- Menores requisitos de mantenimiento.
- Bajo consumo de combustible.
- Bajo nivel de emisiones.
- Capacidad de funcionar de forma fiable en una variedad de combustibles.

El motor Wärtsilä 38 es totalmente compatible con la leyes vigentes (OMI Tier II) sobre emisiones de escape establecidos en el anexo VI del Convenio MARPOL 73/78.

A continuación se detallan las propiedades de sus principales elementos;

- **Bloque del motor.** Está fabricado en fundición nodular y de una sola pieza. Incorpora el alojamiento para los cojinetes del árbol de levas y el colector de admisión, el cual, en los motores en V como es nuestro caso, estará colocado entre los cilindros. El cárter de aceite, de diseño soldado y ligero, estará añadido al bloque por abajo y sellado convenientemente. En nuestro caso será de tipo cárter seco. Desde el cárter se drena al tanque de servicio mediante unas tuberías situadas en los extremos.
- **Cigüeñal.** Esta forjado de una pieza y colgado del bloque del motor. Va a estar equilibrado adecuadamente para contrarrestar los esfuerzos debidos a masas excéntricas. Si fuera necesario, estará provisto de un amortiguador de vibraciones torsionales en el extremo libre del motor.
- **Bielas.** Están fabricadas en acero aleado y forjado. Todos los pernos están hidráulicamente apretados. El aceite es conducido al bulón y al pistón a través de un taladro en la biela. Está diseñada en tres piezas, lo que le proporciona una altura mínima de desmontaje y permite desmontar el pistón sin tener que manipular los cojinetes del cigüeñal.
- **Cojinetes principales y cojinetes del cigüeñal.** Son de diseño trimetálico. Los cojinetes están cubiertos con una película de estaño de 0.5-1 micras de espesor para protegerlos de la corrosión.
- **Camisas de los cilindros.** Están fundidos de forma centrífuga de una aleación especial de acero gris desarrollada para una buena resistencia al desgaste y a altos esfuerzos. El agua de refrigeración se distribuirá por la parte alta de la camisa mediante anillos de distribución de agua. La parte inferior permanecerá seca. Contará con un aro antidesgaste para evitar el desgaste de los cilindros.



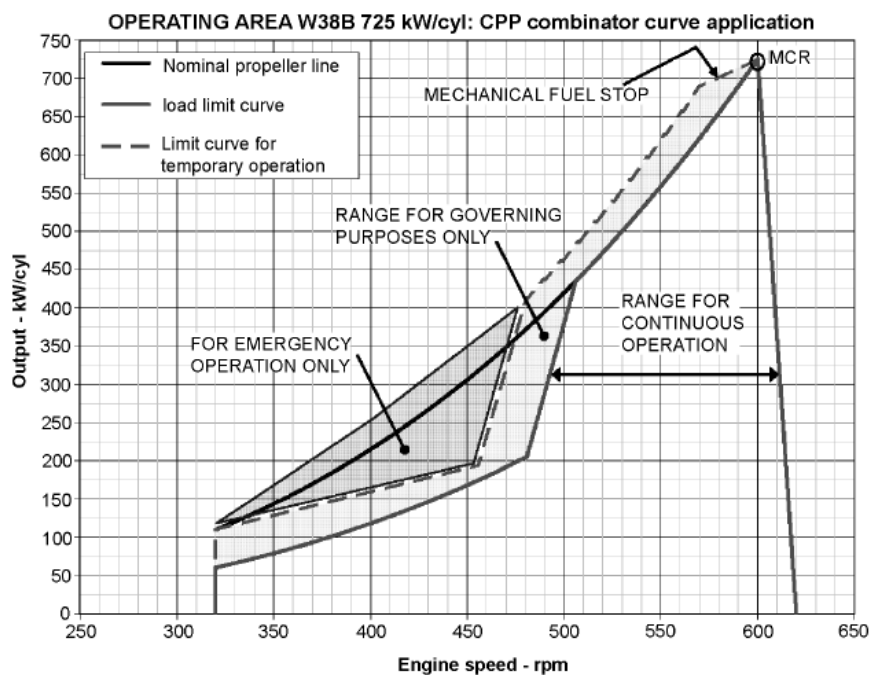
- **Pistones.** Son de diseño compuesto, la faldilla es de hierro fundido y la corona de acero. La faldilla esta lubricada con aceite a presión, lo que asegura un flujo de lubricación controlado hacia la camisa en cualquier condición de trabajo. El aceite es suministrado a través de la biela a los espacios de refrigeración del pistón.
- **Aros antidesgaste.** Estarán situados en la corona de los pistones y consistirán en dos aros de compresión direccional y un aro raspador. La cara de fricción de los aros consiste en una capa cerámica de cromo.
- **Culata.** Estará fabricada en hierro gris fundido, y refrigerada mediante agua conducida en dirección radial desde la periferia al centro de la cabeza. El asiento de las válvulas estará fabricado de una aleación especial de hierro fundido con alta resistencia al uso.
- **Turboalimentación y enfriamiento del aire de carga.** El motor cuenta con el sistema SPEX de turboalimentación, el cual está diseñado para combinar el buen rendimiento a carga parcial de un sistema de carga pulsante con la simplicidad y el rendimiento a alta carga de un sistema de presión constante. Existe un dispositivo para la limpieza con agua de la turbina y del compresor, la cual se realizará mientras el motor esté funcionando. La turbosoplante está lubricada por aceite del motor mediante conexiones integradas. El enfriador del aire de carga es de tipo standard en dos etapas. En una primera etapa el calor es absorbido por el circuito de agua de alta temperatura, mientras que el circuito de baja es utilizado en la segunda etapa. El flujo de aire de baja temperatura a través del enfriador del aire de carga está controlado para mantener constante la temperatura del aire carga.
- **Equipo de inyección de combustible.** El equipo de inyección y las tuberías del sistema están alojadas en una hotbox, proporcionando la máxima fiabilidad y seguridad al trabajar con combustibles precalentados. El sistema de inyección será de common-rail, y se compondrá de bombas de presurización del combustible, acumuladores combustible e inyectores controlados electrónicamente. La principal ventaja del common-rail es que permite mantener una presión de inyección lo suficientemente alta en todo el rango de carga, lo que proporciona operación sin humos incluso a baja carga. Los inyectores, de control electrónico, son actuados mediante aceite. La bomba que lo suministra está movida por el motor.
- **Sistema de aceite lubricante.** El motor dispone de cárter seco. El sistema interno de aceite lubricante incluye una bomba de lubricación movida por el motor, una bomba de prelubricación movida por un motor eléctrico, una válvula termostática, filtros y el enfriador de aceite lubricante. Las bombas de aceite lubricante estarán situadas en el extremo libre del motor, mientras el filtro automático, el enfriador y la válvula termostática están integrados en un módulo.



- **Sistema de agua de refrigeración.** El circuito de agua de refrigeración está dividido en un circuito de alta temperatura y un circuito de baja temperatura. El agua del circuito de alta refrigera las camisas de los cilindros, las cabezas de los cilindros y la primera etapa del enfriador de aire de carga. El agua del circuito de baja refrigera la segunda etapa del enfriador del aire de carga y el aceite lubricante.
- **Conductos de escape.** Están fabricadas de una aleación de hierro fundido resistente al calor. El sistema completo de exhaustación está encerrado en un espacio aislado compuesto de paneles desmontables.
- **Sistema de automatización.** Dispone de un módulo de seguridad del motor y de un panel de control instalado en el propio motor. El módulo de seguridad se encarga de la seguridad fundamental, como el exceso de rpm o la parada del motor debido a baja presión del aceite. El panel de control local posee botones de arranque y parada además de una pantalla que muestra los más importantes parámetros de funcionamiento.

2.4. Interacción hélice-motor

Un sistema de control automático de carga, es necesario para proteger el motor contra sobrecargas. El control de carga, reduce el paso de la hélice de forma automática, cuando llegamos al límite de carga programado en comparación con la curva de velocidad ("curva de límite del motor").



"Gráfico del área de operatividad del motor"



2.5. Reductora y chumacera de empuje

Los motores y las líneas de ejes estarán conectados mediante una reductora con una relación de reducción de 3,33:1. La chumacera de empuje estará integrada en la propia reductora.

2.6. Línea de ejes

Se dispondrá de dos líneas de ejes. Cada una estará acoplada a dos de los motores principales y se compondrá de bocina, eje de cola y eje intermedio. El eje intermedio estará acoplado a la reductora y el eje de cola a la hélice.

El eje estará sostenido en el interior del casco por chumaceras de apoyo, mientras que en el exterior estará sostenido por arbotantes.

La bocina estará lubricada por un tanque de compensación situado por encima de la flotación para vencer la presión del agua e impedir que penetre por la bocina.

2.6.1. Ejes intermedios

El reglamento de la sociedad de clasificación establece el siguiente diámetro mínimo del eje intermedio:

$$d = F \cdot K \cdot \sqrt[3]{\frac{P}{n(1 - Q^4)} \cdot \frac{560}{(R_m + 160)}} = 397mm.$$

Donde:

- k: factor función del tipo de eje, y que en nuestro caso valdrá 1,00,
- F: factor dependiente del tipo de instalación propulsora. En nuestro caso, valdrá 100.
- Q: factor equivalente a d_i / d_o donde $d_i \leq 0,4 d_o$.
- P: máxima potencia entregada al eje, en kW.
- n: Revoluciones por minuto del motor correspondientes al valor anterior.
- R_m : Resistencia mínima del material del eje. Se considerará un valor aproximado de $600 N/mm^2$.



3. GRUPOS GENERADORES AUXILIARES

Como se comentará en el Cuaderno 9, los resultados del balance eléctrico allí realizado nos hacen decantarnos por una solución con **3 motores auxiliares** (generadores-diesel), **2 generadores de cola** (PTOs) y **1 generador de emergencia** para la generación eléctrica.

Dependiendo de la situación de consumo, la simultaneidad será la siguiente:

- En navegación: operan 2 auxiliares y 1 se encuentra en stand-by.
- Maniobrando: 2 motores auxiliares operando y los 2 generadores de cola funcionando.
- Carga y descarga: Funcionan 2 de los auxiliares a la vez y 1 se encuentra de respeto.
- Estancia en puerto: opera 1 auxiliar.

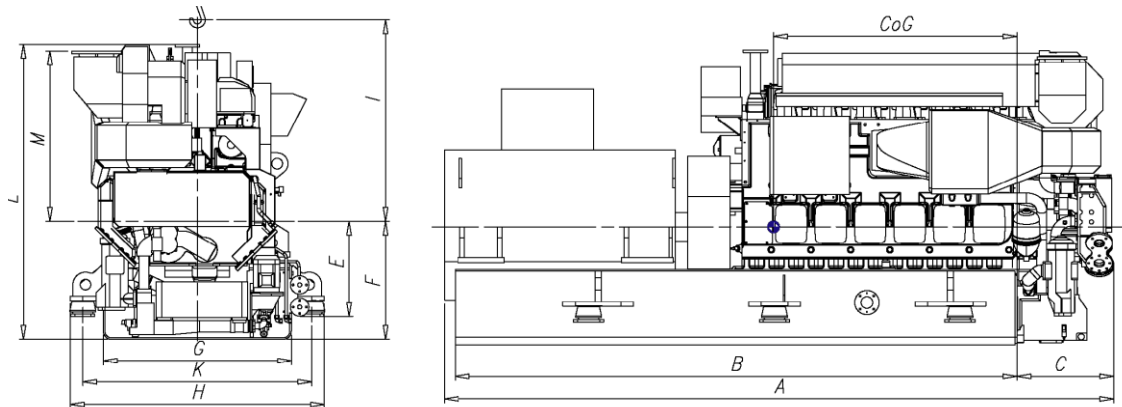
En la siguiente tabla puede verse la simultaneidad en las cuatro situaciones de operatividad del buque.

	Nav.	Man.	C y D	Puerto
P _e necesaria (kW)	2088,64	3753,59	1717,33	828,49
Nº Generadores	2	2	2	1
P _e unitaria (kW)	1140	1140	1140	1140
Régimen	91%	92%	75%	73%
Nº PTOs	0	2	0	0
P. unitaria (kW)	832	832	832	832
Régimen	0%	100%	0%	0%

3.1. Motores auxiliares (MMAA)

Se dispondrá de 3 grupos diesel-generator exactamente iguales. El modelo seleccionado es el **Wärtsilä Auxpac 1140W6L20**. Se ha procurado que el fabricante sea el mismo que el de los MMPP, con el fin de simplificar el soporte y mantenimiento.

Wärtsilä Auxpac 1140W6L20	
Nº cilindros	6
Disposición	L
RPM	1140
Potencia cilindro (kW/cil)	200
Potencia motor (kW)	1200
Presión media efectiva (MPa)	2,73
Diámetro cilindro (mm)	200
Carrera cilindro (mm)	280
Frecuencia (Hz)	50
Potencia del generador (kW)	1140

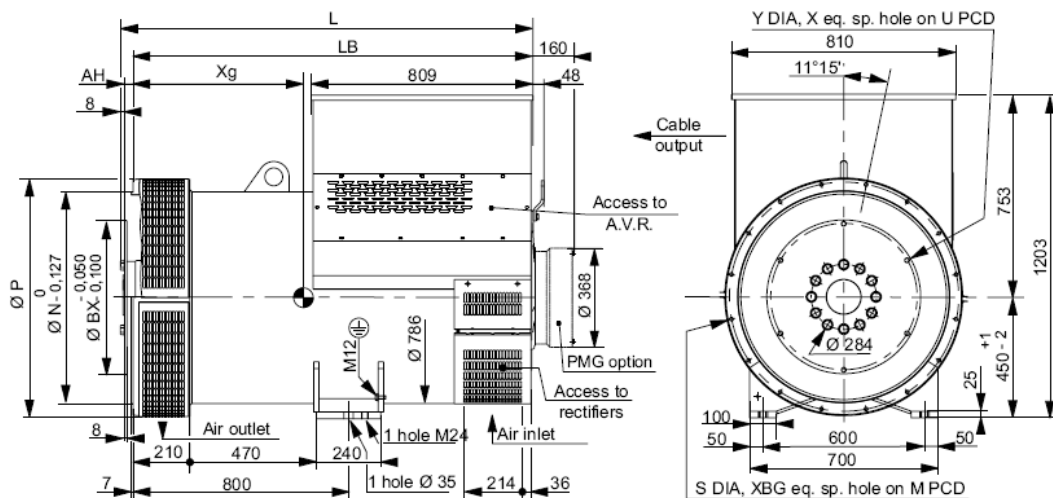


A	B	C	E	F	G	H	I	K	L	M	CoG	Weight Wet	Weight Dry
5212	4370	732	725	900	1420	1920	1800	1730	2248	1299	1892	18,1	17,5

3.2. Generadores de cola (PTOs)

Las PTOs seleccionadas son el modelo LSA 50.2 S4, 4 Pole de Leroy Sommers. Cada PTO debe funcionar a su máxima potencia en la condición de maniobra.

LSA 50.2 S4	
Potencia motor (kW)	832
Potencia aparente (kVA)	1040
RPM	1500
Frecuencia (Hz)	50
Nº polos	4



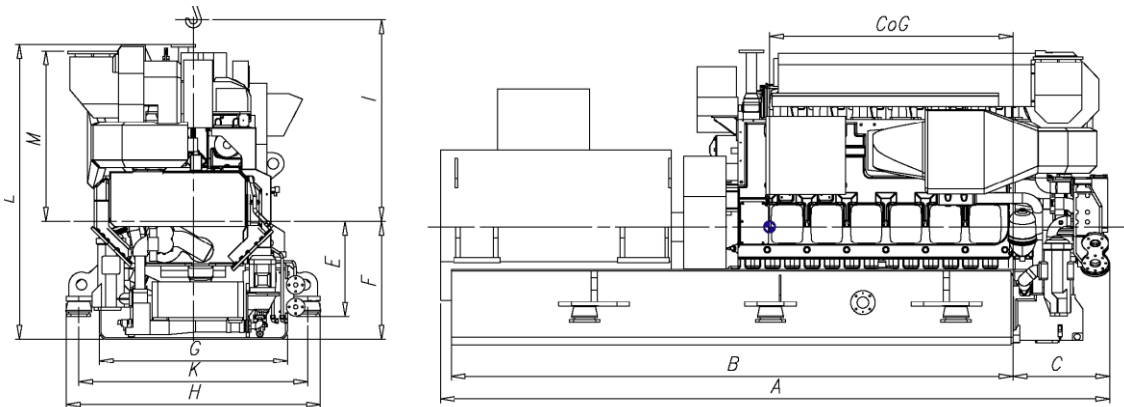
TYPE	L without PMG	LB	Xg	Weight (kg)
LSA 50.2 S4	1302	1278	620	2290



3.3. Grupo de emergencia

Tal y como se expone en el cuaderno nº 9, se instalará un grupo generador-diesel de emergencia para la generación de energía eléctrica en situación de emergencia. Se decide instalar al igual que en los auxiliares un **Wärtsilä Auxpac 790W6L20**, cuyas principales características son las siguientes:

Wärtsilä Auxpac 790W6L20	
Nº cilindros	6
Disposición	L
RPM	1000
Potencia cilindro (kW/cil)	138,67
Potencia motor (kW)	832
Presión media efectiva (MPa)	1,89
Diámetro cilindro (mm)	200
Carrera cilindro (mm)	280
Frecuencia (Hz)	50
Potencia del generador (kW)	790



A	B	C	E	F	G	H	I	K	L	M	CoG	Weight Wet	Weight Dry
5007	4200	732	725	900	1420	1920	1800	1730	2248	1299	1687	16,3	15,8



4. AUTONOMÍA Y CONSUMO DE COMBUSTIBLE

4.1. Consumo y capacidad de almacenamiento de HFO

En primer lugar determinaremos la capacidad necesaria para responder a las necesidades de los principales consumidores y posteriormente hallaremos la suma y añadiremos un 10% por ser la cantidad con la que debe llegarse a puerto.

4.1.1. Consumo de HFO de los motores principales

El fabricante de los motores indica que el consumo, en condiciones ISO, es de 176g/kWh al 100% de la carga y de 173g/kWh al 85%, valores que debemos considerar con un 5% de tolerancia. Interpolamos entre ellos para obtener el consumo al régimen de servicio definido en las especificaciones: 90%, obteniendo un consumo específico de 174g/kWh.

Las condiciones ISO son las siguientes:

Poder calorífico inferior (kJ/kg)	42.700
Presión del aire en a aspiración (kPa)	1000
Temperatura del aire en a aspiración (°C)	25
Humedad relativa	30%

El combustible a utilizar es HFO (Heavy Fuel Oil) de 700 cSt a 50°C y 55 cSt a 100°C, siendo su densidad a 15°C de 991-1010 kg/m³.

La cantidad de combustible necesaria la obtenemos mediante la siguiente expresión:

$$P_{HFO} = \text{Consumo específico}_{\text{Servicio}} \cdot BkW_{\text{SERVICIO}} \cdot \text{Autonomía (h)} = 837 \text{ tons.}$$

Donde el consumo específico al 90% = 174 g/kWh. Este valor lo corregiremos para obtener el consumo real considerando una serie de factores:

- Agua a eliminar durante el purificado. Supone corrección del 1%
- Impurezas a eliminar durante el purificado. Supone corrección del 5%
- Tolerancia que especifica el fabricante del motor: +5%
- Corrección debida a la temperatura: +4%

Finalmente obtenemos un consumo real de 195,7 g/kWh en condiciones de servicio.

- $BkW_{\text{SERVICIO}} = \text{Pot. instalada} \cdot \text{Margen servicio} = 31.270 \text{ kW.}$
- $\text{Autonomía (h)} = \frac{4000m}{26Knt} = 153,85 \text{ h.}$



4.1.2. Consumo de HFO de los motores auxiliares

Procedemos del mismo modo que con los MMPP, pero considerando el consumo de dos de los equipos, dado que en situaciones normales sólo 2 de ellos estarán operando simultáneamente.

Capacidad almacenamiento HFO debido a MMAA = 110 tons.

4.1.3. Consumo de las calderas

En navegación, las necesidades de vapor serán satisfechas con las calderetas de gases de escape. Por ello, no se destinará una parte de la capacidad de almacenamiento de HFO al consumo de las calderas.

4.1.4. Capacidad de almacenamiento de HFO

Sumando los valores obtenidos anteriormente y teniendo en cuenta que el buque debe llegar a puerto con el **10% de los consumos**, determinamos que se precisa almacenar la siguiente cantidad de HFO:

Capacidad mínima de almacenamiento HFO total = 1042 tons.

4.2. Consumo y capacidad de almacenamiento de MDF

El Marine Diesel Fuel es utilizado para limpiar los circuitos de combustible antes de realizar paradas prolongadas y para alimentar el generador de emergencia. A falta de información sobre la capacidad necesaria de MDF, partiremos de la capacidad del buque base, que es del orden del 20% de la capacidad de HFO. En nuestro caso eso supone;

Capacidad de almacenamiento MDF necesaria = 208 tons.



5. SERVICIO DE COMBUSTIBLE

5.1. Propiedades del combustible

5.1.1. Heavy Fuel Oil (HFO)

Los motores principales consumirán combustible pesado, Heavy Fuel Oil, de 700cSt de viscosidad a 50°C (HFO 700). El fabricante de los motores principales recomienda un HFO que sea acorde con las normas ISO 8217 y pertenezca a la categoría RMK 700. En ciertas áreas designadas por la IMO, el contenido en azufre no podrá superar el 1,5%. A continuación se detallan sus principales características:

Densidad a 15°C	991/1010 kg/m ³
Viscosidad cinemática a 50°C	700 cSt
Punto de inflamación	60 °C
Punto de fluidificación	30 °C
Residuos de carbono, máx.	15...22% masa
Azufre, máx.	1,5...4,5% masa
Ceniza, máx.	0,05...0,15% masa
Vanadio, máx.	100...600mg/kg
Aluminio y Silicio, máx.	30...80mg/kg
Sedimentos totales, máx.	0,10% masa

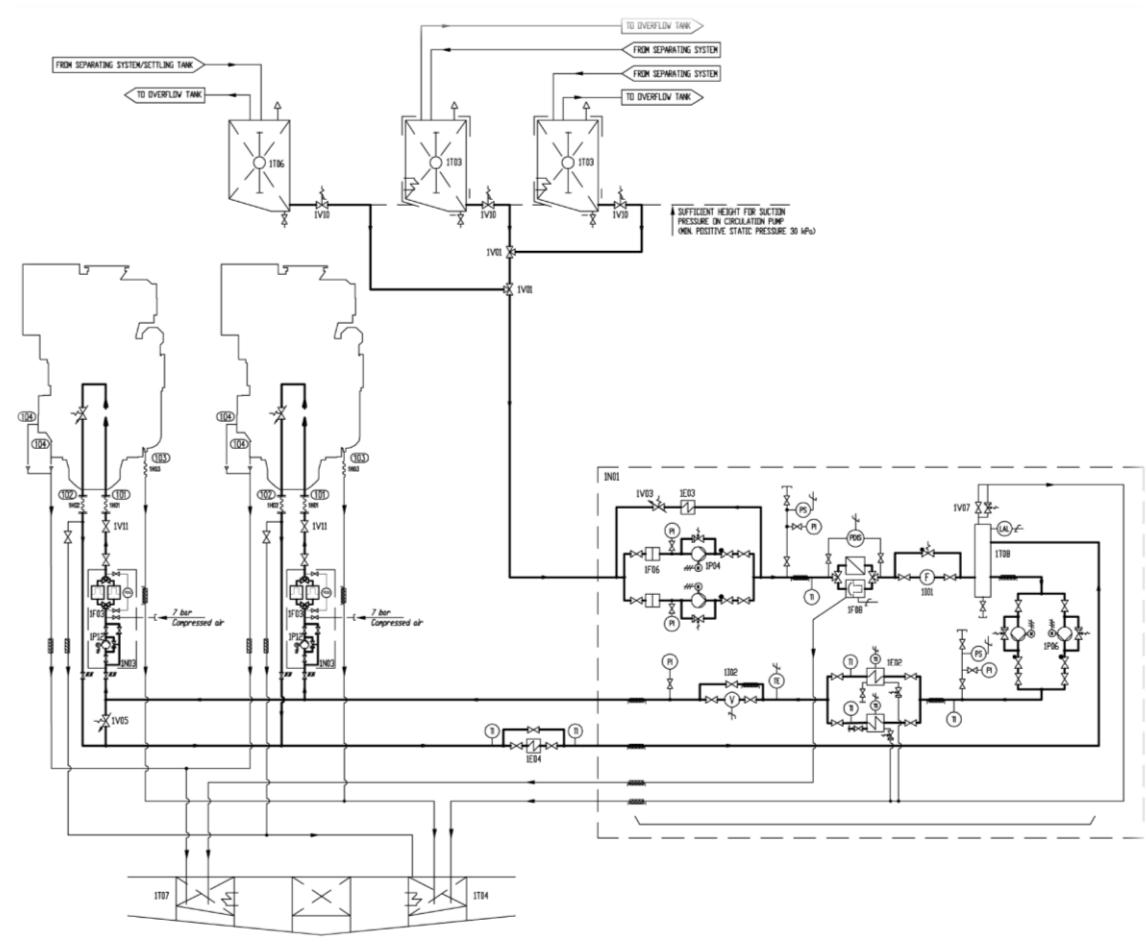
5.1.2. Marine Diesel Fuel (MDF)

Dispondremos de MDF para limpiar y llenar el circuito de combustible antes de realizar una larga parada. Se utilizará del tipo ISO-F-DMA dado que permite cumplir con la normativa de emisiones de óxidos de azufre. Sus características son:

Densidad a 15°C, máx.	900 kg/m ³
Viscosidad cinemática a 40°C, máx.	11.0 cSt
Punto de inflamación	60 °C
Punto de fluidificación (verano)	0 °C
Residuos de carbono, máx.	-
Azufre, máx.	1,5% masa
Ceniza, máx.	0,01% masa
Vanadio, máx.	-
Aluminio y Silicio, máx.	-
Sedimentos totales, máx.	-

5.2. Sistema de alimentación de los motores principales

5.2.1. Esquema y descripción del sistema



System components

1E02	Heater (booster unit)
1E03	Cooler (booster unit)
1F03	Safety filter (HFO)
1F05	Fine filter (MDF)
1F06	Suction filter (booster unit)
1F07	Suction strainer (MDF)
1F08	Automatic filter (booster unit)
1HXX	Flexible pipe connection
1I01	Flow meter (booster unit)
1I02	Viscosity meter (booster unit)
1N01	Feeder / Booster unit
1N03	Pump and filter unit
1P03	Circulation pump (MDF)
1P04	Fuel feed pump (booster unit)
1P06	Circulation pump (booster unit)
1T03	Day tank (HFO)
1T04	Leak fuel tank (clean fuel)

Pipe connections

101	Fuel inlet
102	Fuel outlet
103	Leak fuel drain, clean fuel
104	Leak fuel drain, dirty fuel



El sistema de alimentación llevará el combustible de los tanques de servicio diario a los motores en condiciones óptimas de presión, temperatura y viscosidad. El combustible se mantiene circulando continuamente, aunque el motor esté parado, para mantener la temperatura de funcionamiento.

Cada grupo de dos motores cuenta con su propio circuito de alimentación.

Según el fabricante de los motores principales, estos pueden ser arrancados y parados con HFO siempre y cuando tanto el motor como el sistema de combustible estén precalentados a la temperatura de funcionamiento. Aunque tendremos esto en cuenta, como precaución siempre cambiaremos a MDF para arrancar y parar el motor, y el sistema será limpiado y llenado con MDF antes de realizar una parada prolongada.

5.2.2. Unidad de alimentación

Cada conjunto de motores contará con una unidad de alimentación premontada como la de la figura, la cual le proporcionará el combustible procedente de los tanques de servicio diario en óptimas condiciones para la inyección.

Se utilizará la misma unidad de alimentación para suministrar el MDF.

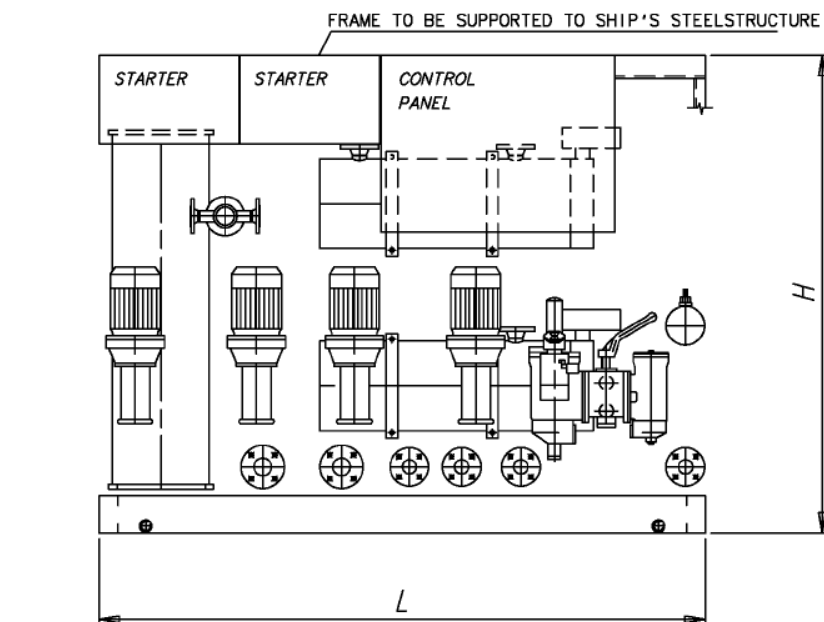
Cada unidad se compondrá de los siguientes elementos:

- Dos filtros de aspiración.
- Dos bombas de alimentación de tipo de husillo, equipadas con válvulas de seguridad integradas y motores eléctricos. Una de las bombas estará de respeto.
- Una válvula de control de presión.
- Un tanque de desaireación presurizado, equipado con una válvula de venteo controlada por un sensor de nivel.
- Dos bombas de circulación del mismo tipo que las de alimentación. Una de las bombas estará de respeto.
- Dos calentadores de vapor. Uno de ellos será de respeto.
- Un filtro automático.
- Un viscosímetro para control de los intercambiadores.
- Una válvula de control para los intercambiadores.
- Una válvula termostática para control de emergencia de los calentadores.
- Un panel de control que incluirá arrancadores para las bombas.
- Un panel de alarmas.

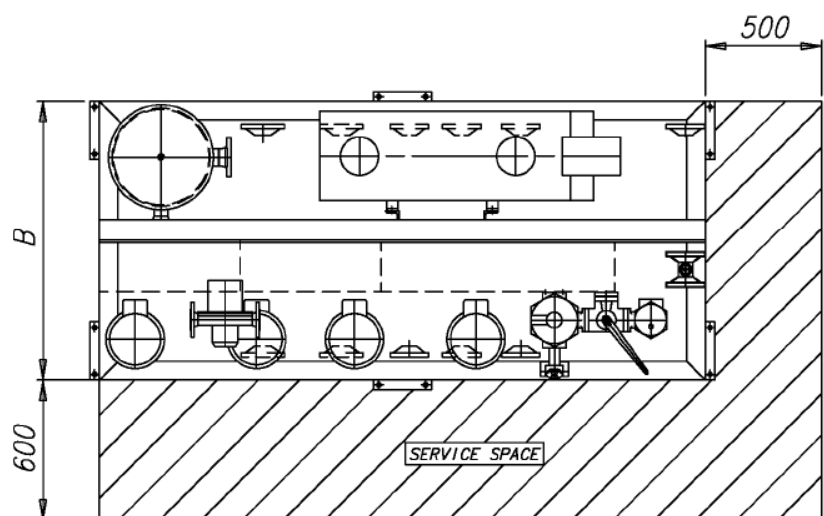
Todo este equipamiento irá montado en una estructura de metal que puede ser fijada a un polín en el barco. La unidad contará con toda la tubería montada, y todas las tuberías de HFO estarán aisladas y convenientemente calefactadas.



A continuación se describen los principales elementos de la unidad.



	H	L	B
STEAM	1800	2500	1100
ELECTRICAL	2050	2600	1200



All dimensions in mm.



5.2.3. Bombas de alimentación de combustible

La bomba de alimentación mantiene la presión en el circuito de alimentación de combustible.

Se utilizarán bombas de husillo capaces de proporcionar un caudal un 60% mayor que el consumo del motor y suficiente para evitar una caída de presión durante la limpieza del filtro automático.

Se instalará un filtro de aspiración con una rejilla de un tamaño de 5mm antes de cada bomba. Debe existir una sobrepresión estática de aproximadamente 30kPa en la aspiración de cada bomba.

Capacidad	1.95 m ³ /h
Presión de diseño	16 bar
Presión máxima (tara de la válvula de seguridad)	7 bar
Temperatura de diseño	100 °C
Viscosidad para dimensionar el motor eléctrico	1000 cSt

5.2.4. Válvula de control de presión

Mantiene la presión en el tanque de desaireación dirigiendo el flujo excedente hacia la aspiración de la bomba de alimentación.

Capacidad	La de la bomba de alimentación
Presión de diseño	16 bar
Temperatura de diseño	100 °C
Punto de ajuste	3...5 bar

5.2.5. Filtro automático

Se dispondrá de un filtro automático en paralelo con un filtro de limpiado manual. El filtro automático se instalará antes del intercambiador, entre la bomba de alimentación y el tanque de desaireación, y debe ir equipado con una camisa calefactada, aunque se evitará el sobrecalentamiento (temperaturas por encima de 100°C).

Viscosidad del combustible	De acuerdo a las especificaciones
Temperatura de diseño (°C)	100
Precalentamiento	Si la viscosidad es mayor que 25cSt
Caudal de diseño (m³/h)	Igual a capacidad de la bomba
Presión de diseño (bar)	16

**Tolerancia tamiz (micras)**

Filtro automático	35
Filtro by-pass	35

Caída máxima permitida de presión (bar)

Filtro limpio	0.2
Alarma	0.8

5.2.6. Caudalímetro

Se instalarán dos caudalímetros por motor, con objeto de monitorizar el consumo de combustible de cada motor por separado. Uno se instalará en la línea de alimentación y el otro en la de retorno. Existirá una línea en by-pass alrededor de cada caudalímetro que se abrirá automáticamente en caso de una excesiva caída de presión.

5.2.7. Tanque de desaireación

Deberá estar equipado con una alarma de bajo nivel y con una válvula de venteo. La tubería de venteo deberá conducir, cuando sea posible, al tanque de reboses, que estará situado a menor altura. El tanque de desaireación estará aislado y equipado con un serpentín de calefacción. El tanque será de 100L.

5.2.8. Bomba de circulación

Esta bomba hace circular el combustible por el sistema y mantiene la presión necesaria a la entrada de las bombas de inyección. De este modo, también mantiene la viscosidad y permite a las bombas de inyección funcionar a la temperatura de operación.

Capacidad	4.92 m ³ /h
Presión de diseño (bar)	16 bar
Presión máxima (válvula de seguridad)	10 bar
Temperatura de diseño (°C)	150 °C
Viscosidad de dimensionamiento del motor eléctrico	500 cSt

5.2.9. Precalentador

Debe ser capaz de mantener la viscosidad del combustible a un valor máximo de 14cSt en la condición de consumo máximo del motor. La potencia del calentador será controlada por el viscosímetro.



Supondremos unas temperaturas de entrada y de salida de 90°C (temperatura de los tanques de servicio diario) y 135°C (temperatura máxima permitida a la entrada del motor), respectivamente. Lo dimensionaremos para un caudal igual al consumo del motor a plena carga más un 15% de margen.

Con objeto de evitar el cracking del combustible, la temperatura de la superficie de termotransferencia no deberá ser demasiado alta. Se evitará que la transmisión de calor supere 1.5W/m².

Capacidad	1.29 m ³ /h
Temperatura de entrada	90°C
Temperatura de salida	135°C

5.2.10. Viscosímetro

Va a controlar el funcionamiento del intercambiador. El punto de ajuste será ligeramente menor que la viscosidad requerida en las bombas de inyección para compensar pérdidas de calor en las tuberías. El viscosímetro será capaz de soportar los picos de presión ocasionados por las bombas de inyección.

Rango de operación	0...50 cSt
Temperatura de diseño (°C)	180 °C
Presión de diseño (°C)	40 °C

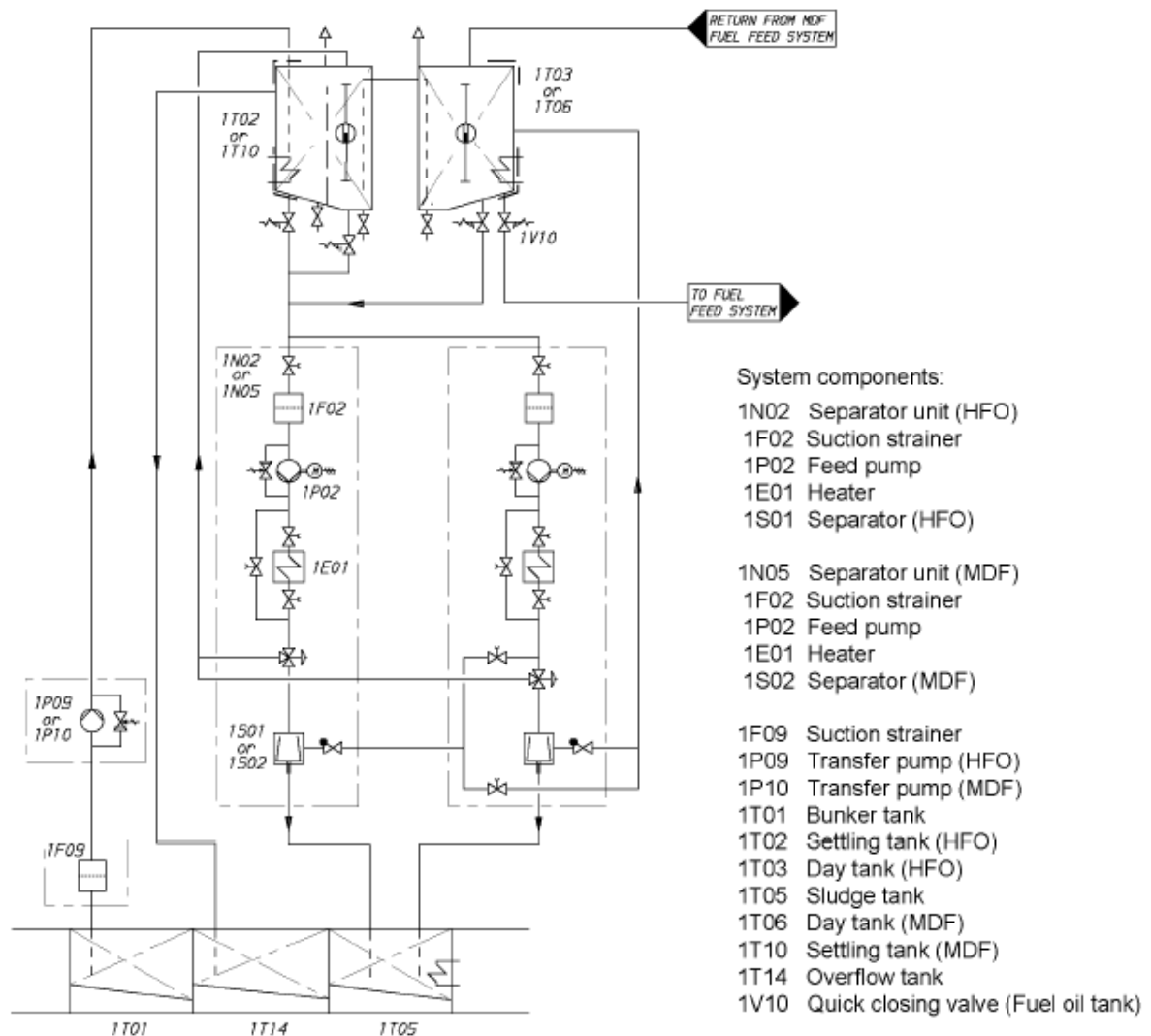
5.3. Sistema de alimentación de los motores auxiliares

El sistema será equivalente al de los MMPP.



5.4. Sistema de trasiego y purificación

5.4.1. Esquema y descripción del sistema



La función de este sistema es suministrar combustible a los tanques de servicio diario en las condiciones óptimas de pureza, viscosidad y presión. El combustible almacenado en los tanques almacén es transferido al tanque de sedimentación cuando baja el nivel de este. De ahí, y pasando por la separadora de combustible, es transferido al tanque de servicio diario, desde donde es llevado al motor.

NOTA: MARPOL establece en el Anexo I, Capítulo 3, Regla 12A que aquellos buques de construcción posterior a Agosto de 2010 con una **capacidad de combustible mayor o igual a 600m³**, como es nuestro caso, deben situar sus tanques de combustible a una determinada distancia del costado y del fondo.



Esta regla nos obliga a situar todos nuestros tanques de **combustible** a una altura superior a **0,76m sobre la línea base**. Debido a ello todos los tanques de combustible van a estar por encima de la cubierta de doble fondo (cubierta 1) excepto los tanques de reboses de combustible, que se sitúan en el doble fondo, pero a una altura de 0,80m sobre la línea base.

5.4.2. Tanques de servicio diario de HFO

El fabricante de los motores recomienda dimensionar cada uno de los dos tanques de servicio diario para garantizar el suministro de HFO durante al menos 8h, es decir, 16h en total. Las necesidades de combustible de los motores principales y los auxiliares durante 16h son 140,5tons, que, considerando una densidad de 991kg/m³, suponen 139m³. Considerando unos suplementos del 2% debido a refuerzos y serpentines y del 2% debido a dilataciones, se precisará un volumen de 145m³ que repartiremos entre dos tanques situados en el local de tratamiento de combustible.

Estos tanques dispondrán de aislamiento térmico y su temperatura será mantenida mediante serpentines de vapor a **90°C**.

5.4.3. Tanques de sedimentación de HFO

Adicionalmente, dispondremos de dos tanques de sedimentación. Con el fin de disponer de suficiente tiempo para la sedimentación (es decir, separación de agua y sedimentos), el fabricante de los motores recomienda que la capacidad de **cada tanque** sea suficiente para almacenar la cantidad de HFO consumida durante 24h. A diferencia de los tanques de servicio diario, dimensionaremos estos tanques considerando unas correcciones de 2% debido a refuerzos y serpentines, 2% debido a la dilatación y un 10% adicional debido a lodos que se acumulen.

Estos tanques se caracterizarán por tener el fondo inclinado para facilitar el drenaje de los lodos. Su temperatura deberá mantenerse en torno a los **60°C** y su nivel, lo más alto posible. Debido a ello contarán con serpentines y dispondrán de una alarma de alto nivel de agua.

5.4.4. Tanques almacén de HFO

Su capacidad se determina restando a la capacidad de almacenamiento de HFO calculada en el apartado 4.5. las capacidades de los tanques de servicio diario y de sedimentación. Consideraremos correcciones del 2% debido a refuerzos y serpentines, más otro 2% debido a dilataciones. Dispondremos de 6 tanques, todos situados sobre la cubierta principal de cámara de máquinas y simétricos respecto a crujía.

Todos los tanques contarán con serpentines de vapor que mantendrán la temperatura entre **40°C y 50°C** para permitir el trasiego de combustible.



5.4.5. Bombas de trasiego de HFO

El trasiego consiste en la transferencia de combustible a baja presión desde los tanques almacén a los de sedimentación. Se dispondrá de dos bombas centrífugas y autocebadas, dispuestas en paralelo (una de ellas en stand-by), de funcionamiento discontinuo y automático para cada grupo de dos motores, dado que la operación de trasiego sólo tendrá lugar cuando baje el nivel en el tanque de sedimentación (por debajo del 70%).

Para dimensionarlas utilizaremos el mayor de los siguientes valores:

- Caudal necesario para el achique completo de un tanque almacén en 12h, trabajando ambas bombas simultáneamente:

$$Q_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{V_{T.ALM.HFO}}{12} = 6,42 m^3/h$$

Consideraremos el mayor de los volúmenes de los tanques almacén.

- Caudal necesario para el llenado de un tanque de sedimentación en 4h:

$$Q_2 = \frac{V_{T.SEDIMENTACIÓN HFO}}{4} = 27,25 m^3/h$$

- Caudal igual a 10 veces el consumo del motor principal:

$$Q_3 = \frac{10 \cdot C_{eREAL} \cdot P}{\rho} = 30,88 m^3/h$$

Se decide elevar el resultado obtenido hasta 40 m³/h considerando la importancia de los equipos y la poca variación de peso y potencia que supondrá el cambio.

5.4.6. Unidad separadora de combustible

Con objeto de minimizar en el combustible la presencia de impurezas que puedan afectar al funcionamiento del motor, el combustible debe ser limpiado en una separadora centrífuga antes de ser transferido al tanque de servicio diario.

Las sociedades de clasificación exigen que la disposición de la separadora sea redundante de modo que la capacidad de purificación requerida se mantenga aunque una unidad no esté operativa. El mejor rendimiento de purificación se alcanza cuando también está en funcionamiento la separadora de respeto, dado que el caudal que fluye por cada una es menor.



Generalmente las separadoras son suministradas ya ensambladas por el fabricante de la separadora. El módulo se compondrá de:

- Filtro de aspiración.
- Bomba de alimentación.
- Precalentador.
- Separadora.
- Bomba de lodos.
- Cuadros de control, que incluyen arrancadores del motor y monitorización.

A continuación se describe cada uno de estos elementos.

5.4.7. Filtro de aspiración

Estará situado en la aspiración de la bomba de alimentación para protegerla de la entrada de elementos extraños. Será del tipo dúplex, por lo que se podrá continuar con el servicio cuando se limpia una de las unidades, contará con válvula de cambio y estará diseñado de forma que pueda evitarse la aspiración de aire que pueda descebar la bomba. El mallado será de 0.5mm.

5.4.8. Bomba de alimentación de la separadora

Será dimensionada para la calidad real del combustible utilizado y para el caudal recomendado de la separadora (calculado en el apartado 5.4.10). Estas bombas descargarán a 5 bar, con el fin de que a la salida del precalentador, en el que suponemos una caída de presión de 1.5 bar, tengamos 3 bar de presión.

Datos de diseño:

Presión de diseño	5 bar
Temperatura de diseño	100 °C
Caudal de diseño	9 m ³ /h
Viscosidad para dimensionar el motor eléctrico	1000 cSt

Determinamos la potencia absorbida por la bomba y la potencia del motor eléctrico asociado a partir de las siguientes expresiones, suponiendo un rendimiento volumétrico del 60% y un rendimiento del motor eléctrico del 80%:

$$P_{\text{ABSORB}} = \frac{Q \cdot \Delta P}{\eta_{\text{BBA}}} = 2,1 \text{ kW} \quad P_{\text{ELÉCTRICA}} = \frac{P_{\text{ABSORB}}}{\eta_{\text{ELÉCTRICO}}} = 2,6 \text{ kW}$$



5.4.9. Precalentador de la separadora de HFO

Se dimensiona considerando la capacidad de la bomba de alimentación y una temperatura dada del tanque de sedimentación. La temperatura de la superficie de transferencia en el precalentador no debe ser demasiado alta para evitar el cracking del fuel. El control de temperatura será capaz de mantener la temperatura del fuel dentro de un intervalo de $\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Se dimensionará para el caudal de la depuradora, calculado en el siguiente apartado. Supondremos un incremento de temperatura en el interior de 30°C , ya que deseamos mantener unas temperaturas de 65°C en los tanques de sedimentación y de 90°C en los tanques de servicio diario, y consideraremos una caída de 5°C de temperatura en la depuradora.

Q	9 m ³ /h
Te	65°C
Ts	95°C

Los precalentadores dispondrán de válvulas de seguridad y tuberías de drenaje que conducirán a un tanque de fugas, de modo que puedan detectarse posibles fugas.

5.4.10. Separadora de HFO

Suponiendo un funcionamiento de 23h al día, el caudal de servicio que atravesará el separador puede ser estimado con la fórmula:

$$Q = \frac{P \cdot b \cdot 24}{\rho \cdot t} = 8,1 \text{ m}^3/\text{h}$$

Dónde:

- *P*: Potencia máxima de los motores diesel, en kW. Consideraremos la suma de las potencias de los motores principales y los auxiliares, 37959kW.
- *b*: consumo específico de combustible, incluyendo un margen de seguridad del 15%, en g/kWh. Tomaremos el valor proporcionado por el fabricante al 100%MCR para los MMPP más el margen de seguridad recomendado, resultando un valor de 202.4 g/kWh.
- *ρ*: densidad del fuel, 991kg/m³.
- *t*: tiempo diario de funcionamiento de la separadora, igual a 23h.

Este valor no debe sobrepasarse. Debe tenerse en cuenta que cuanto menor sea mejor será el rendimiento de la separadora. Deberán colocarse válvulas de muestra antes y después de la separadora.



5.4.11. Tanque de lodos

Este tanque recogerá los lodos extraídos de los tanques de sedimentación y servicio diario, así como los residuos resultados del proceso de depuración. Debe ser colocado bajo las separadoras y lo más cerca posible, de modo que puedan caer por gravedad. Dado que no se contará con incinerador a bordo, deberá ser capaz de albergar todos los residuos de un viaje. Este volumen se determinará mediante la expresión proporcionada por MARPOL (Anexo I, regla 12):

$$V = kCD$$

Dónde:

- $k = 0.01$, dado que el combustible requiere un proceso de purificación.
- C : Consumo diario de HFO.
- D : Duración máxima del viaje, en días.

Para determinar el volumen necesario del tanque se han considerado correcciones debidas a hierros (2%) y a dilataciones (2%). El volumen dimensionado en anteriores cuadernos, será más que suficiente debido a que la duración del viaje nunca excederá el día de duración. Se instalará una bomba de lodos de tipo husillo que permitirá vaciar el tanque. Los lodos deberán ser calentados hasta 80 °C para permitir su bombeo.

5.4.12. Tanque de reboses de HFO

Las fugas de combustible limpio caen por gravedad desde los motores al tanque de reboses desde el cual será bombeado al tanque de servicio diario y reutilizado sin separación. El tanque y las tuberías deben ser calentados y aislados. Se dimensionará su volumen calculando las necesidades de HFO durante 5h.

5.4.13. Tanques de servicio de MDF

El fabricante de los motores recomienda disponer de dos tanques de servicio diario de MDF, cada uno con una capacidad tal que pueda cubrir el consumo del motor durante al menos 8h. Consideraremos correcciones del 2% debido a hierros y del 2% por dilataciones. La temperatura en los tanques se mantendrá en 30°C.

5.4.14. Tanque almacén de MDF

Obtendremos la capacidad mínima necesaria restando al valor obtenido en el apartado 4.2 la capacidad de los tanques de servicio diario. Dichas necesidades están cubiertas por los tanques ya dimensionados en anteriores cuadernos.

5.4.15. Separadora de MDF

El buque dispondrá de una separadora de MDF entre los tanques almacén y de servicio diario de MDF de 1 m³/h.



5.4.16. Precalentador de la separadora de MDF

Se dimensionará para el caudal de la separadora, considerando unas temperaturas de entrada y de salida de 10°C (el tanque almacén de MDF se encuentra en un espacio de máquinas) y de 30°C (temperatura del tanque de servicio diario), respectivamente.

Q	1 m ³ /h
Te	10°C
Ts	30°C

5.4.17. Bombas de trasiego de MDF

Se dispondrá de **dos** bombas centrífugas y autocebadas, dispuestas en paralelo (una de ellas en stand-by), de funcionamiento discontinuo y automático. Se dimensionarán para ser capaces, por separado, de llenar un tanque de servicio en 4h:

$$Q = \frac{V_{T.SERVICIO}}{4} = 7,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

6. SERVICIO DE ACEITE LUBRICANTE

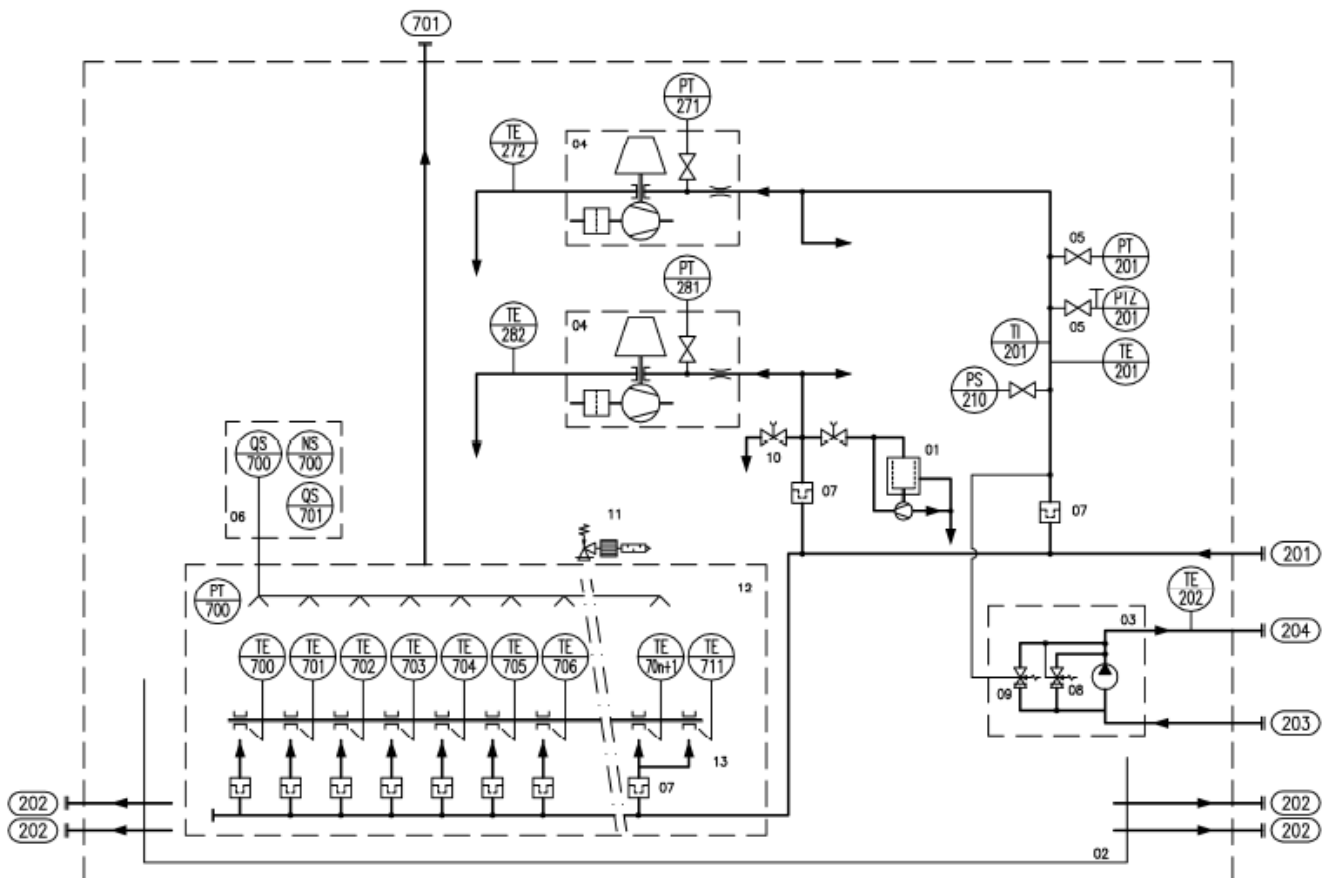
6.1. Propiedades del aceite lubricante

El aceite lubricante de los motores debe ser de clase SAE40 y tener un índice de viscosidad mínimo de 95. En cuanto a la basicidad, dado que se trabajará con HFO, debe seleccionarse un aceite de BN entre 50 y 55, aunque también puede emplearse aceite de BN 40 cuando el contenido de azufre del combustible sea relativamente bajo.

6.2. Sistema de aceite de lubricación de los motores principales

6.2.1. Esquemas y descripción

6.2.1.1. Sistema interno





System components		Sensors and indicators	
01	Centrifugal filter	PS210	Lubricating oil stan-by pump start (i
02	Dry sump	PTZ201	Lubricating oil pressure, engine inlet
03	Main lubricating oil pump engine driven	PT201	Lubricating oil pressure, engine inlet
04	Turbocharger	PT271/PT281	Lubricating oil pressure, TC A/B inlet
05	Valve	PT700	Crankcase pressure (if FAKS)
06	Oil mist detector	NS700	Oil mist detector, failure
07	Run-in filter	QS700	Oil mist detector, alarm
08	Safety valve	QS701	Oil mist detector, shutdown
09	Control valve	TE201	Lubricating oil temperature, engine inlet
10	Sample valve	TE201	Lubricating oil temperature, engine outlet (if FAKS)
11	Explosion valve	TE272/TE282	Lubricating oil temperature, TC A/B outlet (if main engine)
12	Crankcase	TE70n	Main bearing temperature, cyl. n
13	Integrated PTO shaft bearing (if PTO)	TE711	Main bearing temperature (if PTO)
		TI201	Lubricating oil temperature, engine inlet

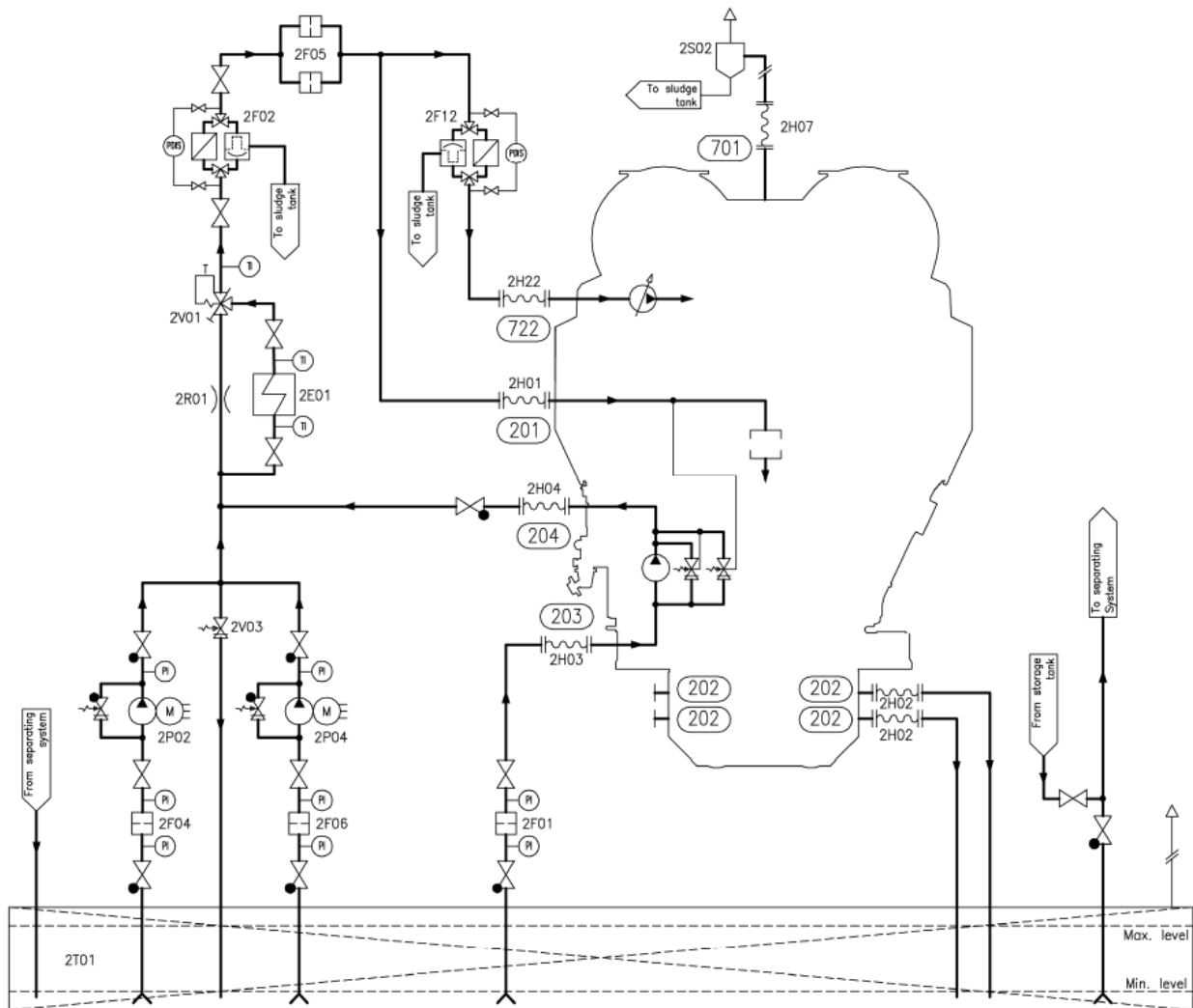
El aceite lubricante es impulsado al interior del motor mediante las bombas de lubricación y prelubricación. Una vez dentro, cumple las siguientes funciones:

- Reducir la fricción y el desgaste entre los elementos en rozamiento.
- Disipar del calor producido por la fricción.
- Asegurar la estanqueidad entre aros y camisas.
- Proteger las camisas de la corrosión en frío, consecuencia del contenido en azufre de los combustibles.
- Refrigeración del pistón.

Un enfriador y una válvula termostática mantienen la temperatura adecuada en el circuito, mientras que los filtros existentes permiten mantenerlo limpio de impurezas.

6.2.1.2. Sistema externo

Cada motor contará con su propio circuito externo de aceite. Ambos circuitos sólo compartirán los tanques almacén y las bombas de trasiego. El circuito externo permite asegurar que a los tanques de servicio diario llega aceite en las condiciones óptimas de pureza, presión, temperatura y viscosidad.



System components

2E01	Lubricating oil cooler
2F01	Suction strainer (main lubricating oil pump)
2F02	Automatic filter (LO)
2F04	Suction strainer (pre lubricating oil pump)
2F05	Safety filter (LO)
2F06	Suction strainer electric driven pump
2F12	Control oil automatic filter
2HXX	Flexible pipe connection *
2H02	Flexible pipe connection
2H01	Flexible pipe connection
2P02	Pre lubricating oil pump
2P04	Stand-by pump
2R01	Orifice (cooler)
2T01	System oil tank
2V01	Temperature control valve
2V03	Pressure control valve

Pipe connections

201	Lubricating oil inlet
202	Lubricating oil outlet
203	Lubricating oil to engine driven pump
204	Lubricating oil from engine driven pump
701	Crankcase air vent
722	Control oil from external filter

* Only required for resiliently mounted engines



6.2.2. Bomba de lubricación

Esta bomba será la encargada de proporcionar aceite al motor para su lubricación, limpieza y refrigeración. Será una bomba de husillo, movida por el motor, y equipada por una válvula reguladora de presión. Estará dimensionada para proporcionar suficiente caudal incluso a bajas velocidades.

Capacidad (m3/h)	155 m3/h
Presión de diseño (bar)	10 bar
Presión tarado válvula de seguridad(bar)	8 bar
Temperatura de diseño, máx.	100°C
Viscosidad para dimensionar el motor eléctrico	500 cSt

6.2.3. Bomba de prelubricación

Esta bomba se encargará de llenar los circuitos de aceite cuando el motor vaya a arrancar después de una larga parada, y de mantener el aceite en movimiento cuando se realice una parada corta.

Será una bomba de engranajes, movida por un motor eléctrico y equipada con una válvula de seguridad.

Capacidad (m3/h)	35 m3/h
Presión de diseño (bar)	10 bar
Presión tarado válvula de seguridad(bar)	3.5 bar
Temperatura de diseño, máx.	100°C
Viscosidad para dimensionar el motor eléctrico	500 cSt

6.2.4. Bomba de lubricación de respeto

Será de tipo husillo, y dispondrá de una válvula de reboses.

Capacidad (m3/h)	140 m3/h
Presión de diseño (bar)	10 bar
Presión tarado válvula de seguridad(bar)	8 bar
Temperatura de diseño, máx.	100°C
Viscosidad para dimensionar el motor eléctrico	500 cSt



6.2.5. Resto de elementos del circuito interno

- Filtro automático. Permite prolongar la duración de los filtros incorporados en el motor.
- Filtro centrífugo. Encargado de limpiar el aceite procedente de la autolimpieza del filtro automático.

6.2.6. Tanques de servicio de aceite

Dispondremos de cuatro tanques de servicio de aceite, uno por motor de capacidad 10m³, situados en el doble fondo y debajo de los motores. La tubería entre el cárter del motor y el tanque será flexible para evitar daños debidos a dilataciones.

El nivel de los tanques se mantendrá alrededor de 75-80%. Cuando baje por debajo del 60%, se accionarán las bombas de trasiego, que transferirán aceite de los tanques almacén a los tanques de servicio.

Los tanques deberán disponer de serpentines de calefacción con objeto de levantar la temperatura del aceite después de una larga parada o mantener la temperatura del tanque en unas condiciones que aseguren la posibilidad de bombeo. La temperatura a mantener en el interior será de **40°C**.

6.2.7. Tanques almacén de aceite

Habrà un tanque de aceite de 40m³ de capacidad. Estará dimensionado para hacer frente a una sustitución del volumen total de los tanques de servicio diario. Por tanto, se ha considerado el volumen de los tanques de servicio diario, para hallar el del tanque almacén, todos los volúmenes fueron calculados en cuadernos anteriores.

6.2.8. Bombas de trasiego de aceite

Dispondremos de dos bombas idénticas, manteniéndose una de ellas en stand-by. Se encargarán de transferir aceite de los tanques almacén a los tanques de servicio. Su funcionamiento estará automatizado y controlado mediante un sensor de nivel en los tanques de servicio de aceite.

Cada una será dimensionada para ser capaces de llenar un tanque de servicio diario en 2h.

$$Q = \frac{V_{SD}}{\Delta t} = 5 \text{ m}^3/\text{h}$$

Dónde:

- V_{SD} : Capacidad de aceite en el tanque de servicio, en m3.
- Δt : Intervalo de tiempo, 2h.



6.2.9. Tanque de aceite sucio

Habrà un tanque de aceite sucio, el cual tendrá la misma capacidad que el tanque almacén. El aceite sucio pasará por este tanque antes de ser limpiado en la separadora.

6.2.10. Unidad separadora de aceite

Cada motor contará con su propia separadora de aceite, la cual será dimensionada para una operación continua. Generalmente son suministradas como unidades preensambladas, compuestas de los siguientes elementos:

- Bomba de alimentación con filtro de aspiración y válvula de seguridad.
- Precalentador.
- Separadora.
- Armario de control.
- Tanque de lodos.
- Bomba de lodos. La podemos añadir para evitar tener que situar directamente por debajo de la separadora el tanque de lodos.

6.2.11. Bomba de alimentación

Absorberá aceite del tanque de servicio y lo hará pasar por la separadora en funcionamiento. Será seleccionada para cumplir con el caudal recomendado para la separadora, 2,55 m³/h (obtenido en el apartado 6.2.13). El motor eléctrico será dimensionado teniendo en cuenta la temperatura mínima que se alcance en el tanque de servicio.

6.2.12. Precalentador

Se dimensionará de acuerdo a la capacidad de la bomba y la temperatura del tanque de aceite del sistema. Cuando el motor está en marcha, la temperatura del tanque de aceite se mantendrá entre 65°C y 75°C. Con el fin de facilitar la separación incluso con el motor parado, la capacidad del calentador deberá ser suficiente para mantener esa temperatura sin aporte de calor del motor.

La temperatura a la salida del precalentador y, por tanto, antes de la separadora, será 95°C. La temperatura de la superficie de termotransferencia del precalentador no superará los 150°C para evitar el cooking del aceite. Contará con válvulas de seguridad y tuberías de drenaje conectadas con un tanque para permitir detectar posibles fugas.



6.2.13. Separadora de aceite

Será de tipo centrífugo. Es deseable que posea una descarga controlada del bol con el fin de minimizar las fugas de aceite. El caudal a través de la separadora puede ser estimado mediante la siguiente expresión:

$$Q = \frac{0.00135 \cdot P \cdot n}{t} = 2,55 \text{ m}^3/\text{h}$$

Donde:

Q: caudal, en m³/h

P: Potencia del motor, en kW.

n: número de renovaciones de aceite por día: Se recomiendan 5 para HFO.

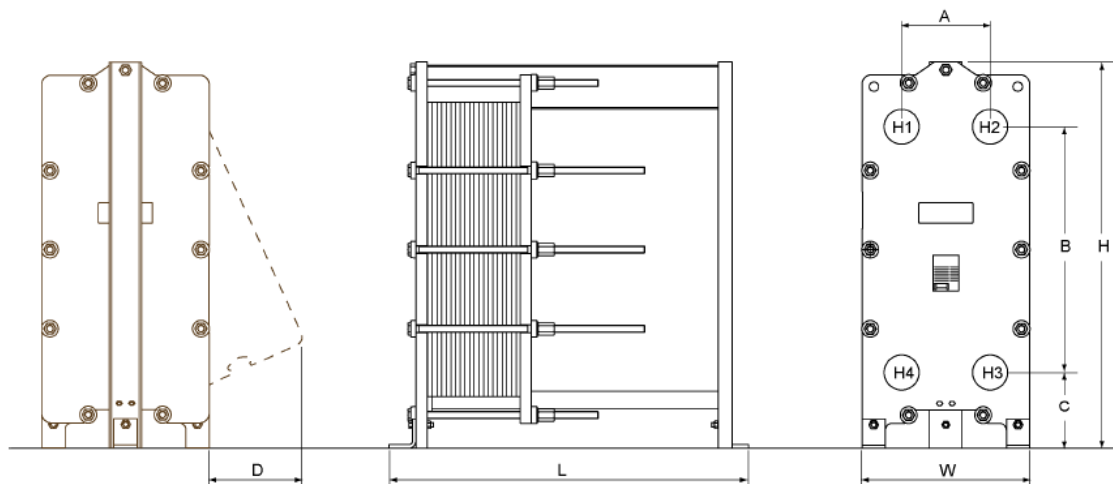
t: tiempo de operación diario de la separadora: Consideraremos 23h.

6.2.14. Tanque de lodos

Coincidirá con el tanque de lodos del sistema de combustible, que fue estudiado en el apartado 5.3.11.

6.2.15. Enfriadores de aceite lubricante

Existirá, para cada circuito de lubricación, un enfriador de placas agua/aceite situado fuera del motor.



H1 = Lubricating oil inlet
H4 = Lubricating oil outlet
H3 = Water inlet
H2 = Water outlet

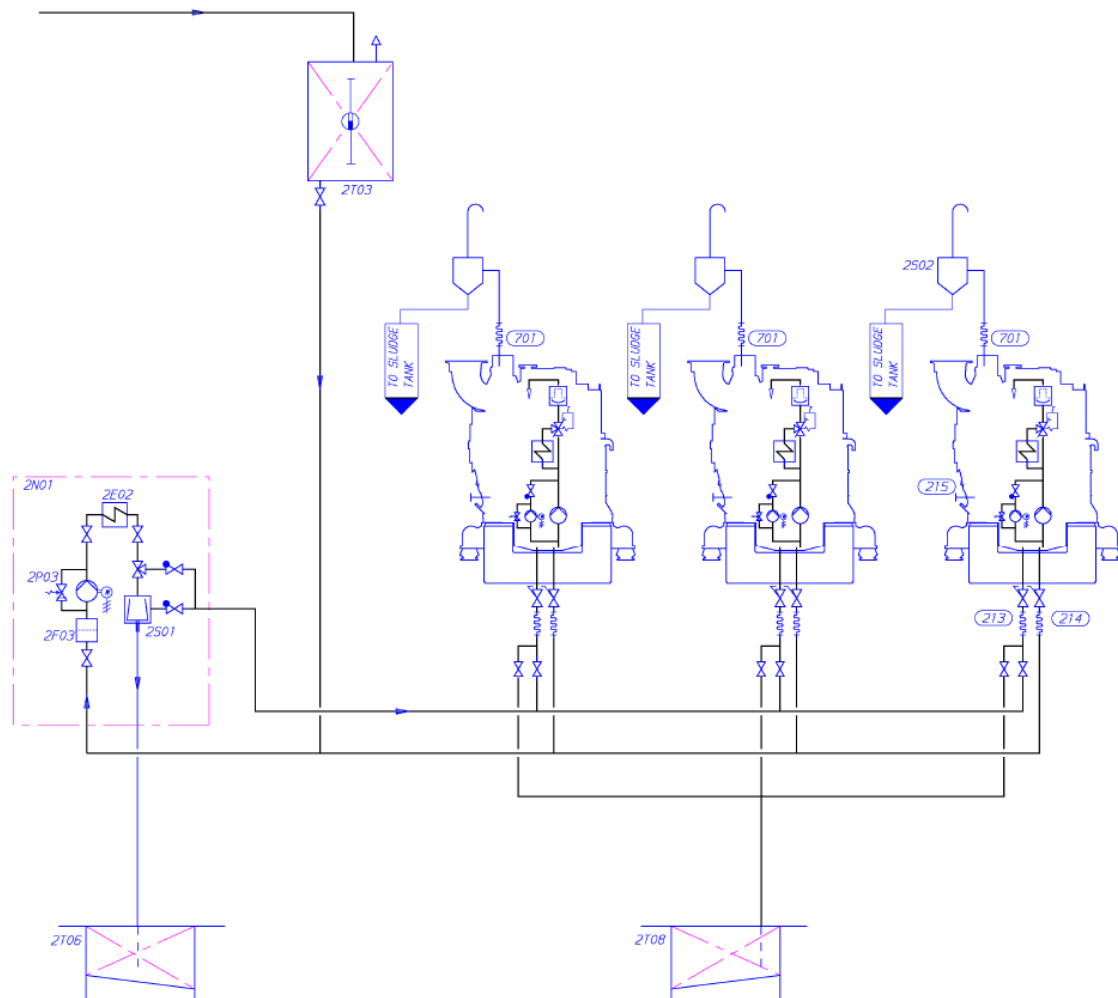
Engine	Weight, dry [kg]	Dimensions [mm]						
		H	W	L	A	B	C	D
W 12V38	1270	1675	720	1487	380	1057	330	300
W 16V38	1410	1675	720	1737	380	1057	330	300

**6.2.16. Válvula termostática**

Mantiene la temperatura deseada del aceite en el interior del motor, dirigiendo parte del caudal a través de la línea en by-pass que atraviesa el enfriador.

Temperatura deseada antes del motor	63°C
Presión de diseño	10 bar
Caída de presión máxima	0.5 bar

6.3. Sistema de aceite de lubricación de los motores auxiliares



System components

2E02	Heater (Separator unit)
2F03	Suction filter (Separator unit)
2N01	Separator unit
2P03	Separator pump (Separator unit)
2S01	Separator
2S02	Condensate trap
2T03	New oil tank
2T06	Sludge tank
2T08	Used oil tank

Pipe connections

213	Lubrication oil from separator and filling
214	Lubrication oil to separator and drain
215	Lubrication oil filling
701	Crankcase air vent



7. SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO

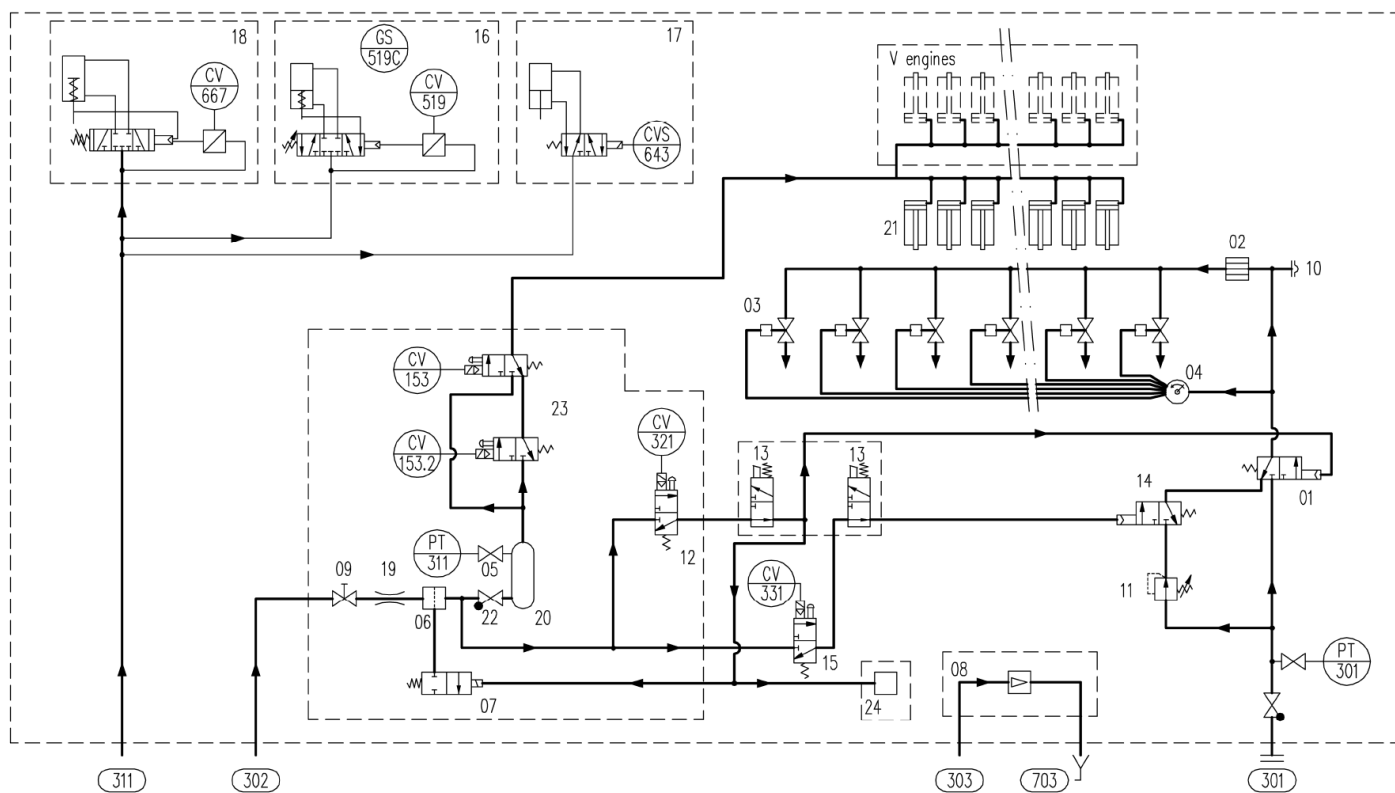
7.1. Descripción

El aire comprimido se emplea para arrancar los motores y para proporcionar energía de actuación a dispositivos de seguridad y control. Las sociedades de clasificación limitan el empleo de aire de arranque para otros propósitos.

Para asegurar la operatividad de todos los componentes en el sistema, el aire comprimido debe estar libre de partículas sólidas y de aceite.

7.2. Sistema interno de aire comprimido

7.2.1. Esquema y descripción del sistema





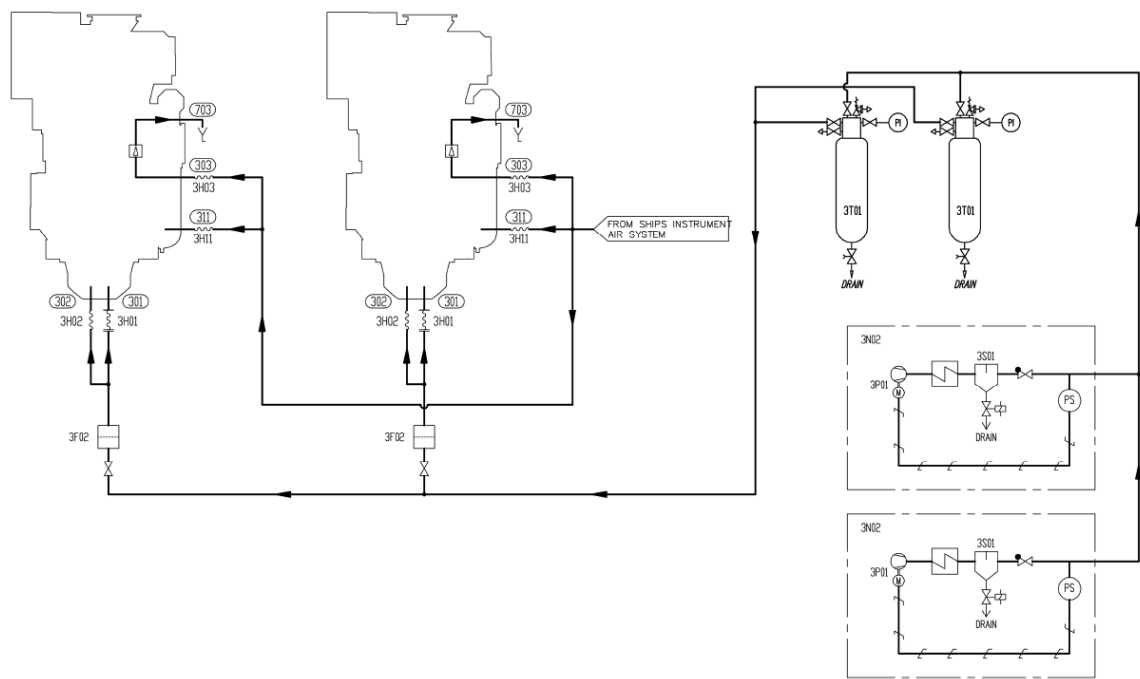
System components		Sensors and indicators	
01	Main starting valve	CV153	Stop solenoid valve
02	Flame arrester	CV153.2	Stop solenoid valve
03	Starting air valve in cylinder head	CV321	Start control valve
04	Starting air distributor	CV331	Slow turning control valve
05	Valve	CV519	Waste gate valve
06	Air filter	CV643	By-pass valve
07	Valve for automatic draining	PI301	Charge air pressure, engine inlet (if GL)
08	Oil mist detector	PI311	Control air pressure (if GL)
09	Ball valve	PT301	Charge air pressure, engine inlet
10	Bursting disc	PT311	Control air pressure
11	Pressure regulating valve		
12	Starting valve		
13	Blocking valve on turning gear		
14	Main slow turning valve		
15	Slow turning valve		
16	Waste gate valve		
17	By-pass valve (variable speed application FPP/CPP)		
18	Air waste gate valve		
19	Orifice		
20	Air container		
21	Pneumatic stop cylinder at each HP fuel pump		
22	Non return valve		
23	Stopping valve HP fuel pump		
24	Booster (mech. driven actuator)		

El motor será arrancado mediante aire comprimido a una presión nominal de 30bar. El arranque se realizará por inyección directa de aire en los cilindros a través de las válvulas de arranque existentes en las culatas. La válvula principal de arranque, integrada en el motor, puede ser operada tanto manual como eléctricamente. El motor contará con válvulas de no retorno integradas y amortiguadores de llama.



7.3. Sistema externo de aire comprimido

7.3.1. Esquema y descripción del sistema



System components		Pipe connections	
3F02	Air filter (starting air inlet)	301	Starting air inlet, 3 MPa
3H0X	Flexible pipe connections	302	Starting air inlet, 3 MPa
3N02	Starting air compressor unit	303	Driving air to oil mist detector, 0.2÷1.2 MPa
3P01	Compressor (Starting air compressor unit)	311	Instrument air, 0.8 MPa
3S01	Separator (Starting air compressor unit)	703	Outlet from oil mist detector
3T01	Starting air vessel		

El sistema se compondrá de dos botellas conectadas a 3 líneas de aire independientes. La primera irá destinada al arranque de los motores principales, la segunda al arranque de los auxiliares y la tercera a servicios de seguridad y control de los motores principales.

Además contamos con una tercera botella para proporcionar aire comprimido a diversos servicios técnicos.

Las tuberías del aire de arranque estarán ligeramente inclinadas y equipadas con un drenaje automático o manual en sus puntos más bajos.

El aire de los servicios de seguridad y control será tratado en un secador de aire.



7.3.2. Compresores de aire de arranque

El reglamento de la Sociedad de Clasificación establece, en su Pt. C, Cap. 1, Sec. 10, Art. 17.3.2, que existirán al menos dos compresores con una capacidad conjunta tal que sean capaces de llenar las botellas de aire comprimido en 1h a partir de aire a la presión atmosférica.

$$\text{Capacidad total} = 11 \text{ m}^3/\text{h}$$

Supondremos un rendimiento isentrópico de 0.75, un rendimiento mecánico de 0.90 y un rendimiento del motor eléctrico de 0.9, resultando la siguiente potencia eléctrica:

$$\text{Potencia} = 13,3 \text{ kW}$$

La temperatura del aire a la salida del compresor no deberá exceder los 93 °C en servicio. Cada compresor estará dotado de una válvula de seguridad tal que con la válvula de escape cerrada, la acumulación no exceda en más de un 10% a la presión de trabajo.

7.3.3. Compresor de emergencia

Existirá un compresor de pequeño tamaño, engranado al generador de emergencia, que nos permitirá, en una situación de buque muerto, rellenar las botellas de aire de arranque para poder arrancar los motores auxiliares.

$$\text{Capacidad} = 1,45 \text{ m}^3/\text{h}$$

7.3.4. Separadores de agua y aceite

Existirá un separador de agua y aceite instalado en la tubería entre el compresor y las botellas de aire de arranque. Dependiendo de la condiciones de servicio del barco, también puede ser necesario instalar uno entre las botellas de aire de arranque y el motor.

7.3.5. Botellas de aire de arranque

Las botellas de aire de arranque se dimensionarán para una presión nominal de 30bar. Su capacidad, definida en el reglamento de Bureau Veritas, deberá ser suficiente para permitir 6 arrancadas de los motores principales y 3 de los auxiliares. Para la determinación de este volumen se considerará una presión mínima de 18bar.

El volumen total de aire de arranque requerido por los motores principales puede ser estimado mediante la expresión, proporcionada por el fabricante:

$$V_R = \frac{p_E \cdot V_E \cdot n_{START} \cdot n_{MMPP}}{p_{R\text{ MÁX}} - p_{R\text{ MÍN}}} = 9,5 \text{ m}^3$$

- $V_{R\text{ MMPP}}$: Volumen requerido (a 30 bar).
- p_E : presión atmosférica (en condiciones NTP, condiciones normales de presión y temperatura), 1.01 bar.



- V_E : Consumo de aire por arranque, medido en condiciones normales de presión y temperatura. Cada motor consume 4.7m3 por arranque
- n_{START} : nº de arranques requerido por la sociedad de clasificación, 6.
- n_{MMPP} : nº de MMPP, 4.
- $p_{R\ MÁX}$: Máxima presión de arranque, 30bar.
- $p_{R\ MÍN}$: Mínima presión de arranque, 18bar.

De forma idéntica estimamos el volumen necesario para arrancar los MMAA, pero teniendo en cuenta lo siguiente:

- V_E : Consumo de aire por arranque, medido en condiciones normales de presión y temperatura. Cada motor consume 0.4m3 por arranque.
- n_{START} : nº de arranques requerido por la sociedad de clasificación, 3.
- n_{MMPP} : nº de MMAA, 3.

Las botellas contarán, al menos, con una válvula manual para drenaje de condensados. En el caso de ser dispuestas horizontalmente, deberá haber una inclinación de 3...5º para permitir un eficiente drenaje.

7.3.6. Botella de aire comprimido para servicios técnicos

Además se contará con una botella de aire comprimido que almacenará aire a 8bar. Este aire se utilizará en los siguientes servicios:

- Tomas para mangueras de limpieza en cámara de máquinas.
- Limpieza de filtros de aceite de los motores.
- Tomas de aire en el taller, para limpieza y accionamiento de las herramientas.
- Tomas de aire en el local de depuradoras.
- Limpieza de tomas de mar.
- La botella tendrá una autonomía de 10h.

7.3.7. Filtro de aire de arranque

Después del separador de agua pueden formarse condensados capaces de crear y arrastrar óxido en las tuberías, las botellas y otros elementos. Por esta razón se recomienda instalar, antes de la entrada de aire de arranque al motor, un filtro que evite la entrada de partículas.

El fabricante recomienda utilizar un filtro de tipo Y que disponga de malla de acero inoxidable y con una tolerancia de 400micras. La caída de presión en él no debe exceder 20kPa durante el arranque.

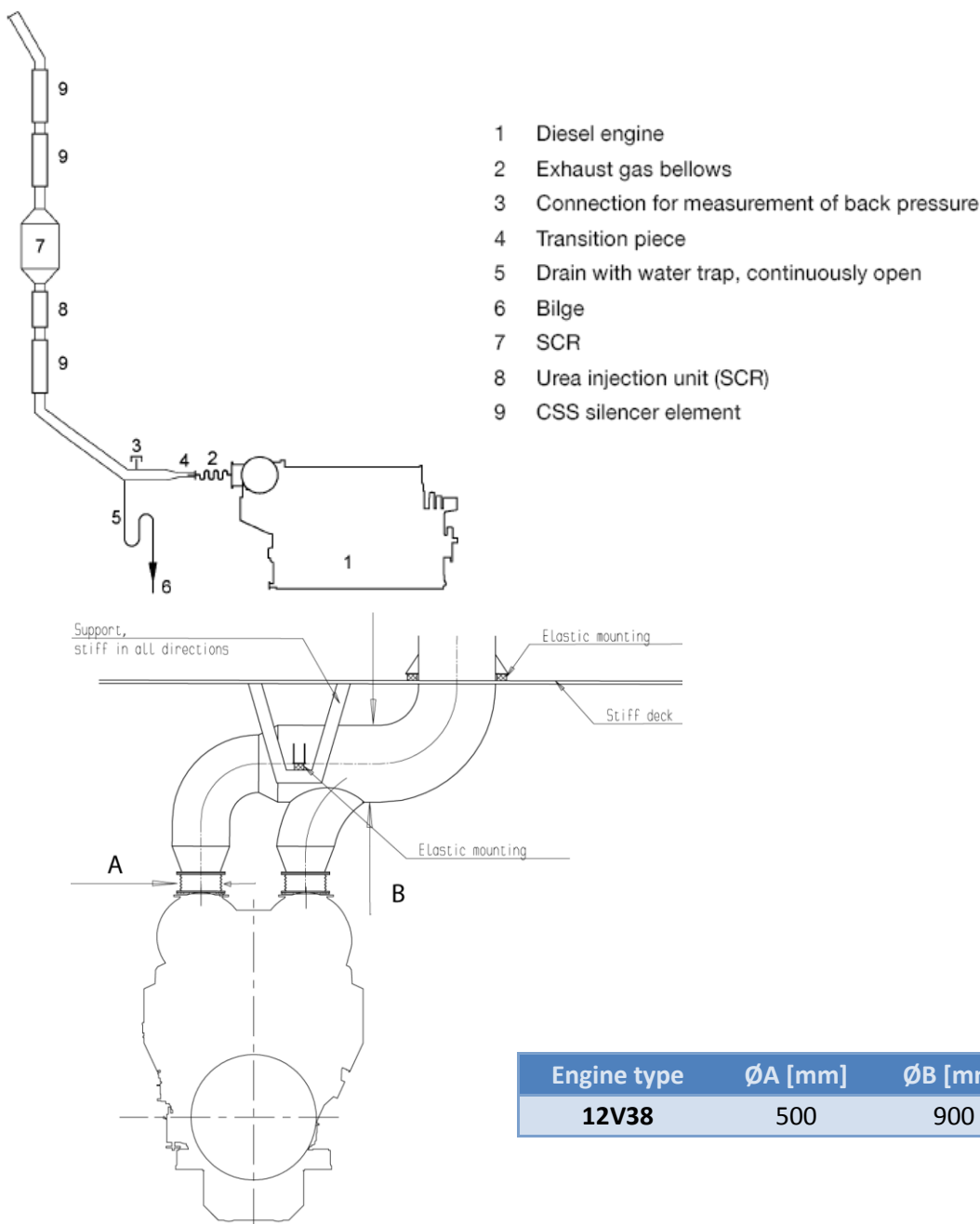


8. SISTEMA DE EXHAUSTACIÓN

8.1. Sistema de exhaustación de los motores principales

8.1.1. Descripción

Cada motor tiene su propio conducto de exhaustación. Dentro del diseño del conducto deben considerarse especialmente las pérdidas de carga, la expansión térmica y el soportado. A la salida de la turbosoplante existen conexiones flexibles para compensar la expansión térmica y prevenir problemas en la turbosoplante debido a vibraciones.





8.1.2. Conducto de exhaustación

El conducto de exhaustación debe ser lo más corto posible y los codos y expansiones deben diseñarse y situarse de modo que se logre minimizar las pérdidas de carga. El fabricante de los motores recomienda que la velocidad de los gases de escape sea aproximadamente de 35...40m/s a plena carga.

El diámetro del conducto (D) se incrementa justo después de la turbosoplante. En los codos, el radio de curvatura no debe ser menor de 1,5· D. Podemos obtener un valor aproximado del diámetro necesario haciendo uso de la siguiente expresión proporcionada por el fabricante:

$$V = \frac{4\dot{m}}{1,3 \cdot \left(\frac{273}{273 + T}\right) \cdot \pi \cdot D^2}$$

Donde:

- v: velocidad de los gases de escape, en m/s. Consideraremos 35m/s.
- \dot{m} : flujo másico del gases de escape, en kg/s. Igual a 15.7 kg/s al plena carga.
- T: Temperatura de los gases de escape, en °C. Igual a 389°C a plena carga.
- D: Diámetro del conducto de gases de escape, en m.

Diámetro del conducto de exhaustación = 1032mm

8.1.3. Caldereta de gases de escape

Cada conducto de exhaustación de los motores principales contará con una caldereta para aprovechamiento de los gases de escape. Serán calderas de tubos de humos por ser el tipo más sencillo y seguro.

Determinaremos mediante la siguiente expresión el calor, proveniente de los gases de escape, disponible en la caldereta:

$$Q = \dot{m} \cdot C_e \cdot \Delta T \cdot \eta = 452 \frac{\text{kcal}}{\text{s}} = 1.627.200 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

Dónde:

- \dot{m} : flujo másico de gases de escape. En condiciones de servicio, igual a 15,19kg/s.
- C_e : calor específico de los gases de escape, 0,25kcal/kg°C.
- ΔT : decremento de temperatura de los gases de escape. Como temperatura de salida se considerará 185°C, con objeto de evitar la condensación de ácido sulfúrico. Como temperatura de entrada, se tomará 309°C (temperatura de los gases de escape después de la turbosoplante en condiciones de servicio).

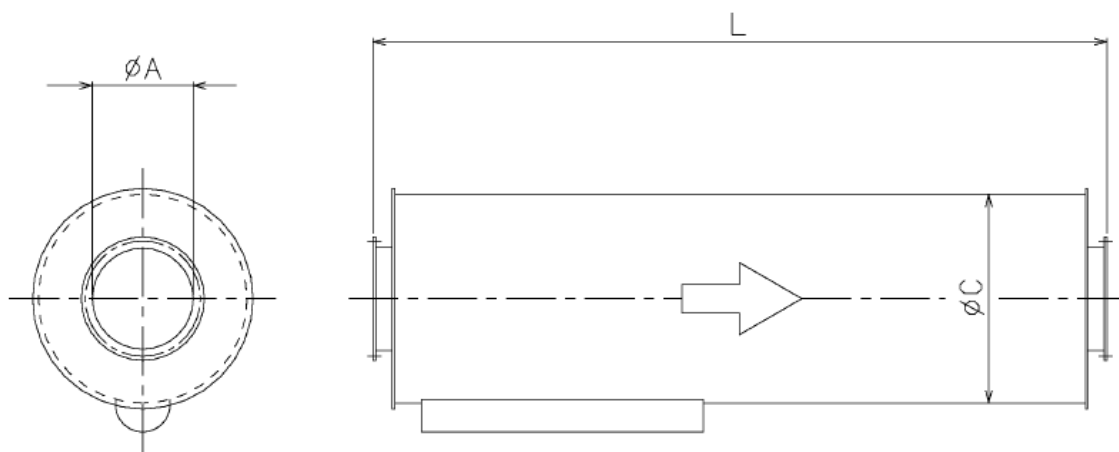
- η : rendimiento de la caldera, igual a 0,96.

Capacidad producción de vapor unitaria	2661 KgV/h.
Capacidad producción de vapor total	10.644 KgV/h.

8.1.4. Silenciadores

El silenciador se sitúa a continuación de la caldereta y su misión consiste en amortiguar la transmisión de ruidos a la zona de habilitación. Se decide instalar silenciadores estándar, de absorción, equipados con apaga-chispas, sistema de drenaje de condensados y recogedor de hollín. Dicho silenciador tendrá una atenuación máxima de 35dB. Se dispondrá en posición vertical.

Sus características serán las siguientes:



Engine type	A [mm]	C [mm]	L [mm]	Weight [kg]
12V38	1100	1950	6700	4700

8.2. Sistema de exhaustación de los motores auxiliares

La única diferencia significativa del sistema de exhaustación de los motores auxiliares respecto al sistema de exhaustación de los motores principales es la ausencia en este caso de calderetas de gases de escape. El resto del sistema es similar al expuesto para los motores principales.



9. SISTEMA DE VENTILACIÓN

9.1. Sistema de ventilación de espacios de máquinas

9.1.1. Descripción

Las principales funciones del sistema de ventilación de espacios de máquinas son proporcionar el aire de combustión que precisan los motores y las calderas y disipar el calor emitido por los equipos que existen en los locales.

La ISO 8861 establece los requisitos que debe cumplir el sistema de ventilación de cámara de máquinas de un buque de propulsión diesel. En este documento se define como cámara de máquinas todo aquel espacio que contenga maquinaria de propulsión principal, calderas, generadores diesel o maquinaria eléctrica de gran potencia. Luego debemos diferenciar entre espacios de cámara de máquinas y espacios, simplemente, de máquinas:

- En nuestro caso consideraremos los siguientes espacios como espacios de Cámara de Máquinas:
 - Local de motores principales.
 - Local de motores auxiliares.
 - Local de hélices transversales.

Para el cálculo de las necesidades de ventilación de estos espacios consideraremos las indicaciones de la norma ISO mencionada.

- El resto de espacios de máquinas, es decir, el local de compresores aire comprimido, el local de separadoras, el local del servo, el local de CI y sentinas, el local del generador de emergencia y la sala de control de cámara de máquinas serán estudiados de forma diferente.

Con el fin de mantener una ligera sobrepresión en los locales, existirán ventiladores que impulsarán aire con un salto de presión de 50 mm.c.a., y ventiladores que lo extraerán con un salto de presión 10 mm.c.a. menor. En los conductos de ventilación no se superarán los 5m/s para evitar molestias por ruidos.

El aire se introduce a través de unas rejillas de ventilación, directamente conectadas a los conductos de ventilación. En el caso del local de MMPP, estas rejillas se encuentran situadas a proa del guardacalor, en la cubierta 10. Para el resto de locales, las rejillas a través de las cuales entra o sale el aire estarán situadas en los costados, a la altura de la cubierta 6.

En lo que respecta a la ventilación de la sala de control, situada adyacente al local de MMAA, se debe asegurar que, en caso de incendio, no le falte la ventilación y la visibilidad, además de no haber humo, de forma que la maquinaria y los equipos funcionen con normalidad y se puedan inspeccionar si es necesario. Esta prescripción obliga a disponer de dos elementos de suministro de aire independientes, dichas tomas de aire se dispondrán de forma que se minimice la posibilidad de que el humo se introduzca simultáneamente por ambas.



9.1.2. Ventilación de los locales de cámara de máquinas

Estudiaremos cada uno de los locales que mencionamos en el apartado anterior por separado, dado que están separados por mamparos estancos. El flujo de aire necesario para ventilar cada uno de estos locales será el mayor de los siguientes valores:

$$Q_{A1} = Q_C + Q_H$$

Dónde:

- Q_C : flujo de aire de combustión que precisan los motores principales, motores auxiliares y calderas para su funcionamiento.
- Q_H : el flujo de aire necesario para disipar el calor emitido por equipos, tuberías de vapor o conductos de escape que se encuentren en el local.

$$Q_{A2} = 1,5 \cdot Q_C$$

Según la norma ISO mencionada anteriormente, no deben considerarse aquellos equipos que se encuentren en el guardacalor, por lo que excluirémos de los cálculos el calor emitido por las calderetas de gases de escape.

Basaremos los cálculos en las potencias máximas de cada uno de los equipos y supondremos un incremento de temperatura del aire durante su paso por cámara de máquinas de 12,5°C y una temperatura del aire exterior de 35°C.

9.1.2.1. Aire de combustión

El aire necesario para la combustión será calculado mediante la siguiente expresión:

$$Q_C = Q_{MMPP} \cdot Q_{MMAA} \cdot Q_B$$

En el caso de los motores principales y los motores auxiliares, consideraremos los valores proporcionados por los fabricantes.

El consumo de aire por parte de la caldera lo estimaremos mediante la expresión:

$$Q_B = \frac{\dot{m}_v \cdot k_1 \cdot k_2}{\rho_{Aire}}$$

Dónde:

- \dot{m}_v : generación de vapor de la caldera auxiliar. 2000kg/h
- k_1 : relación entre el flujo másico de vapor generado y el consumo de combustible necesario: 0.077 kg combustible/ kgV.
- k_2 : masa de aire necesaria para quemar 1 kg de combustible: 15,7 kg aire/kg combustible
- ρ_{AIRE} : densidad del aire a 35°C: 1.13 kg/m³.



Por tanto, consideraremos, en los locales de CCMM, los siguientes caudales de aire para combustión:

$$Q_{MMPP}=53,88 \text{ m}^3/\text{s} \quad Q_{MMAA}=12,6 \text{ m}^3/\text{s} \quad Q_B=0,6 \text{ m}^3/\text{s}$$

9.1.2.2. Aire para disipación de calor

A continuación, estimaremos las necesidades de aire para la evacuación del calor cedido por equipos, tuberías de vapor o conductos de escape que hubiera en el local, para lo cual haremos uso de la siguiente expresión:

$$Q_H = \frac{Q_{HDP} + Q_{HDG} + Q_{HB} + Q_{TV} + Q_{EL} + Q_{EXH} + Q_{TK} + Q_{Otros}}{\rho_{Aire} \cdot C \cdot \Delta T}$$

Dónde:

- Q_{HDP} : calor irradiado por los MMPP al 100%MCR. Valor proporcionado por el fabricante. (340kW)
- Q_{HDG} : Calor irradiado por los MMAA. Valor proporcionado por el fabricante. (98kW)
- Q_{HB} : Calor irradiado por la caldera. Lo estimaremos mediante la siguiente expresión:

$$Q_{HB} = \dot{m}_v \cdot c_{COMB} \cdot i \cdot U =$$

Dónde:

- \dot{m}_v es la producción de vapor de la caldera, 2000 kg/h.
- i es el poder calorífico inferior del combustible: 42700kJ/kg para el HFO.
- U es el porcentaje que suponen las pérdidas por radiación del equipo, alrededor de un 1.2%
- Q_{TV} : Calor emitido por las tuberías de vapor. Lo estimaremos mediante la siguiente expresión:

$$Q_{TV} = \dot{m}_v \cdot c_{COMB} \cdot i \cdot U$$

En este caso las pérdidas por radiación de las tuberías de vapor supondrán un 0.2% de la energía consumida por la caldera. Repartiremos esta cantidad entre los espacios de máquinas de forma proporcional en función del volumen de cada espacio.

- Q_{EXH} : emisión de calor de los conductos de escape. Estimaremos un valor de 3kW para los conductos del local de MMAA y de 4kW para los del local de MMPP.
- Q_{EL} : emisión de calor de las instalaciones eléctricas. Supondremos pérdidas del orden del 20% de la potencia de régimen del equipo eléctrico (a excepción de las hélices transversales de proa, para cuyos motores eléctricos consideramos pérdidas por radiación del 5%) y de la iluminación del local.



- Q_{TK} : emisión de calor de los tanques de calefacción adyacentes al local.
- Q_{Otros} : emisiones debidas a elementos que no hemos considerado. Supondran un 2% de la suma de las emisiones anteriores.
- ρ_{AIRE} : densidad del aire a 35°C: 1.15 kg/m³.

	Q_{HDP} (kW)	Q_{HDG} (kW)	Q_{HB} (kW)	Q_{TV} (kW)	Q_{EX} (kW)	Q_{EL} (kW)	Q_{TK} (kW)	Q_{OTROS} (kW)	Q_{TOTAL} (kW)	Q_H (m ³ /s)
Local Hélices Proa	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	115,7	0,0	2,3	118,0	8,2
Local MMPP	1360,0	0,0	0,0	0,0	4,0	91,5	1,9	5,6	1463,0	101,2
Local MMAA	0,0	140,0	2,1	0,0	3,0	4,0	0,0	1,2	150,3	10,4

9.1.2.3. Caudales de aire necesarios

Comparamos los resultados de los flujos de aire, Q_{A1} y Q_{A2} y nos quedamos con el mayor de ellos.

	Q_C (m ³ /s)	Q_H (m ³ /s)	Q_{A1} (m ³ /s)	Q_{A2} (m ³ /s)	Q_{A1} (m ³ /h)
Local hélices proa	0,0	8,2	8,2	0,0	29520
Local MMPP	53,9	101,2	155,1	80,8	558288
Local MMAA	13,2	10,4	23,6	19,8	84960

En todos los casos, $Q_{A1} = Q_C + Q_H > Q_{A2} = 1.5 \cdot Q_C$

$$P = \frac{9,81 \cdot Q \cdot H}{\eta_M \cdot \eta_{EL}} \text{ (kW)}$$

Dónde:

- Q : caudal a proporcionar por el ventilador en m³/s
- H: presión manométrica en mm.c.a.
- η_M y η_{EL} son, respectivamente, el rendimiento mecánico del ventilador y el rendimiento del motor eléctrico. Consideraremos, en todos los locales, los siguientes valores: $\eta_M=0.65$ y $\eta_{EL}=0.85$.

Con el fin de mantener una ligera sobrepresión el local los ventiladores impulsarán aire con un salto de presión de 50 mm.c.a. y lo extraerán con un salto de presión 10 mm.c.a. menor.



En la siguiente tabla se recoge el número de ventiladores de introducción y extracción y sus respectivas potencias.

Espacios de cámara de máquinas	Introducción			Extracción		
	Nº serv.	Nº resp.	P. unitaria (kW)	Nº serv.	Nº resp.	P. unitaria (kW)
Local de MMAA	6	4	3,49	6	2	2,79
Local de MMPP	10	8	13,77	10	8	11,01
Local de hélices transversales	2	1	3,64	2	1	2,91

9.1.3. Ventilación del resto de espacios de máquinas

Determinaremos el caudal de aire necesario y el nº de ventiladores requeridos a partir del volumen de cada local y el número de renovaciones de aire recomendadas por unidad de tiempo.

El local de separadoras y tratamiento de combustible es especialmente sensible debido a los gases desprendidos. Con objeto de mantener una atmosfera limpia de gases inflamables, se obligará a mantener un régimen de 50 renovaciones por hora.

Resto de espacios de cámara de máquinas	Introducción			Extracción		
	Nº serv.	Nº resp.	P. unitaria (kW)	Nº serv.	Nº resp.	P. unitaria (kW)
Local servo	2	1	2,34	2	1	1,87
Taller eléctrico	2	1	1,04	2	1	0,83
Local separadoras	2	1	3,85	2	1	3,08
Taller mecánico	1	1	2,66	1	1	2,13
Local tratamiento agua	1	1	2,66	1	1	2,13
Local CI y Sentinas	1	1	2,66	1	1	2,13
Local del generador de emergencia	1	1	0,50	1	1	0,40
Local de baterías	1	1	0,50	1	1	0,40

En el Anexo 1 se puede ver con detalle el número de ventiladores y el número de renovaciones de aire por unidad de tiempo en cada uno de los espacios.

9.2. Ventilación de las zonas de carga

Las cubiertas de carga contarán con un sistema de ventilación forzada capaz de realizar 10 renovaciones por hora durante la travesía (mínimo requerido por SOLAS) y 30 renovaciones por hora durante las operaciones de carga y descarga.



El sistema estará compuesto de;

- 12 ventiladores por cubierta (4 de los cuales serán de respeto) para introducir aire.
- 10 ventiladores por cubierta (4 de los cuales serán de respeto) para asegurar la circulación del aire hacia popa y que situamos a mitad de la eslora.
- Conductos de aspiración y exhaustación.

Los ventiladores estarán controlados desde el puente de mando para poder pararlos desde el propio puente en caso de incendio. El sistema también puede ser accionado desde el exterior de los espacios de carga.

Los ventiladores empleados son de tipo axial y reversible, accionados por motores eléctricos preparados para aguantar el ambiente salino y la temperatura y humedad de un clima de tipo tropical.

El aire se introduce por rejillas situadas en la zona de proa, sobre las cubiertas 5 y 6, siendo impulsado mediante ventiladores de funcionamiento reversible, y sale por rejillas situadas en la zona de amarre de popa y en los costados, proveniente de la ventilación de la Cubierta Principal.

El SOLAS, en su cap. II-2, parte C, regla 9, sección 7, obliga a que el sistema de ventilación de las cubiertas de carga rodada sea independiente de los demás sistemas de ventilación, con el fin de evitar riesgos de comunicación de gases de escape o humos entre diferentes zonas o que se impulse el aire destinado a otros espacios.

Además, es obligado cumplimiento que esté en funcionamiento siempre que haya vehículos en los garajes y que los conductos de ventilación de estas cubiertas que sean susceptibles de quedar herméticamente cerrados sean independientes para cada uno de los mencionados espacios.

Los conductos de ventilación de exhaustación que se encuentren en los costados van a estar convenientemente alojados entre las bulárcamas, de modo que no resulten dañados ni reduzcan espacio destinado a la carga.

Los conductos de ventilación serán de chapa de acero galvanizado o de tubo de chapa de acero galvanizado arrollado en espiral. Los cambios de sección y dirección serán lo más suaves posible, con el fin de no producir excesivas pérdidas de carga. En estos conductos los cordones de soldadura y la zona adyacente son particularmente sensibles a la corrosión. Por ello se limpiarán y se protegerán con pintura galvánica en frío.

9.3. Ventilación de espacios de habilitación

Los espacios de habilitación contarán con aire acondicionado, sistema que se comentará en el siguiente apartado.



10. SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO

10.1. Descripción de la instalación

Los espacios de habitación deben ser convenientemente acondicionados con objeto de asegurar el confort del pasaje y la tripulación.

Cada una de las zonas principales contraincendios dispondrá de su propio sistema de aire acondicionado, con el fin de evitar que los conductos de ventilación atraviesen los mamparos contraincendios con los que queda dividida la habitación.

El sistema de aire acondicionado consistirá en compresores y condensadores, los cuales estarán dispuestos en cámara de máquinas (local de compresores AACC) y refrigerados por el sistema centralizado de agua de refrigeración, y evaporadores y ventiladores, los cuales estarán situados en tres locales sobre la primera y segunda cubierta de tripulación. Desde estos locales, el aire se distribuye a los diferentes espacios a través de conductos y rejillas de ventilación.

Las renovaciones de aire requeridas son las siguientes:

- En comedores, salones, camarotes, salas de reuniones, puente de navegación y pasillos se realizan 10 renovaciones por hora, con un 50% de aire fresco, manteniéndose la atmósfera interior a 25°C y 50% de humedad, las condiciones ideales para garantizar el confort deseado. El puente dispone de dos sistemas independientes de ventilación capaces de asegurar la idoneidad de la atmósfera y la visibilidad en caso de incendio.
- La cocina contará con 30 renovaciones por hora de aire fresco, y con ventiladores para introducir y extraer aire.
- Los aseos y la enfermería contarán con 20 renovaciones por hora con un 100% de aire fresco.

El sistema estará diseñado para poder trabajar con las siguientes condiciones externas:

- Verano:
 - Temperatura máxima del aire +35°C
 - Humedad relativa: 80 %
 - Temperatura máxima del agua de mar +20°C
- Invierno:
 - Temperatura mínima del aire: -10°C
 - Humedad relativa: 60 %
 - Temperatura mínima del agua de mar: +5°C



Las condiciones ambientales internas que se desea mantener son de +25°C en verano y +20°C en invierno, con una humedad relativa del 50%.

Cada unidad de aire acondicionado funcionará calentando directamente el aire con vapor, o enfriándolo mediante la expansión del refrigerante R134a. Desde estas unidades se hace circular el aire hacia los locales que se desea acondicionar, en los cuales existirán unas rejillas que permitirán filtrar las impurezas del aire, y las correspondientes válvulas de regulación de flujo. En algunos espacios, como los pasillos, los salones y el comedor, además de las rejillas por las que entra el aire acondicionado hacia el local, existen otras a través de las cuales se hace recircular parte del aire a la unidad de AA. En el caso del hospital, se instalarán válvulas de no retorno en los conductos de introducción, y la extracción será independiente. La instalación también incluirá ventiladores, los cuales forzarán la circulación del aire.

10.2. Agrupación de los espacios a acondicionar

En primer lugar llevamos a cabo una primera clasificación de los locales que deben contar con aire acondicionado en función de sus características. En la siguiente tabla se indica, para cada una de las categorías resultantes, el número de renovaciones de aire por hora recomendadas, la temperatura deseada en los locales (en invierno y en verano), y el porcentaje del flujo másico de aire que es recirculado con respecto al total:

Espacios a acondicionar	NR (nº renov./h)	Ti Refrigeración (T_{local}, °C)	Ti Calefacción (T_{local}, °C)	% AR (% Aire Recirculado)
Cocinas	30	25	20	0
Enfermería y Aseos públicos	20	25	20	0
Sala de Control CCMM	10	25	20	50
Camarotes pasaje	10	25	20	50
Camarotes tripulación	10	25	20	50
Pasillos/Escaleras	10	25	20	50
Salones	10	25	20	50
Oficinas/oficios/salas reuniones/control CI	10	25	20	50
Comedor	10	25	20	50
Puente de navegación	10	25	20	50

En segundo lugar dividiremos el buque en diferentes secciones. Cada sección será climatizada por separado. Dado que cada zona principal contraincendios debe poseer su propio sistema de calefacción (los conductos de ventilación no pueden atravesar los mamparos principales CI) debemos realizar estas agrupaciones para cada zona CI, y considerar, para cada sección, su superficie y su volumen. Las siguientes tablas muestran, para cada zona principal CI, las propiedades de sus secciones.



Zona vertical CI	Sección	Área Habitación (m2)	Área Baños y Enfermería (m2)	Área Cocinas (m2)	Caudal por sección (m3/h)
Zona Popa	S1/1	0	25	440	28770
	S1/2	350	5	0	8280
Zona Intermedia Popa	S2/1	780	40	0	18060
	S2/2	750	20	0	18170
	S2/3	320	0	0	6720
Zona Intermedia Proa	S3/1	790	0	0	16590
	S3/2	740	15	20	19090
	S3/3	530	10	25	12768
Zona Proa	S4/1	590	30	0	13650
	S4/2	650	20	0	15870
	S4/3	500	0	0	10500
	S4/4	320	3	0	6951

Una vez subdivididos los espacios a acondicionar, realizaremos los cálculos necesarios para dimensionar la instalación. Calefacción y refrigeración serán estudiadas por separado.

10.3. Calefacción

Para cada sección determinamos los siguientes valores:

- $Q = \sum V_{LOCAL} \cdot NR_{LOCAL}$: Caudal de aire que debe pasar por el intercambiador de cada sección.
- NR_{LOCAL} : nº de renovaciones por hora del local.
- %AR.: porcentaje de flujo másico de aire recirculado.
- t_i : temperatura deseada en cada sección.
- $t_{REJ i} = t_i + 3$ (°C): temperatura de rejilla en cada sección.
- $t_{RET i} = t_i - 2$ (°C): temperatura de retorno del caudal de aire de cada sección.
- $t_{SI i} = t_{REJ i} + 3$ (°C): temperatura de salida del intercambiador de cada sección
- $t_{Mi} = t_{ext} \cdot \left(1 - \frac{\%AR}{100}\right) + t_{RET i} \cdot \left(\frac{\%AR}{100}\right)$: temperatura media del aire antes del intercambiador.
- $q_i = Q_i \cdot \rho \cdot Ce \cdot (t_{SI i} - t_{Mi})$: Calor requerido por el caudal de aire que circula por cada sección



	Zona Popa		Zona Intermedia Popa			Zona Intermedia Proa			Zona Proa			
Seccion	S1/1	S1/2	S2/1	S2/2	S2/3	S3/1	S3/2	S3/3	S4/1	S4/2	S4/3	S4/4
Caudal (m3/h)	28770	8280	18060	18170	6720	16590	19090	12768	13650	15870	10500	6951
%AR	0	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
ti	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
trej	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
tret	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
tsi	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
tm	-10	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
qi(kcal/h)	293316	51588	112521	113206	41868	103362	118938	79550	85045	98876	65419	43308

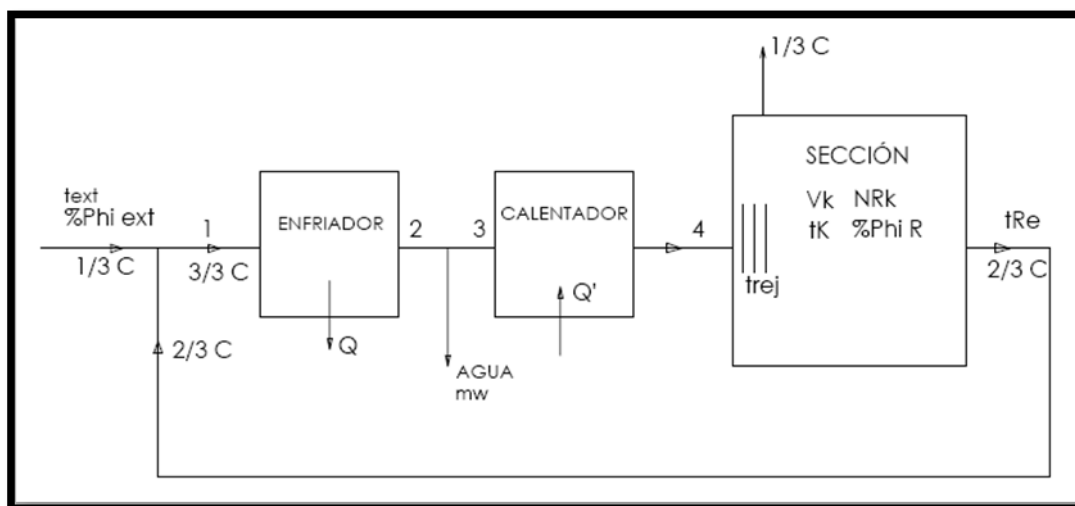
El calor total necesario para calefactar todos los locales será la suma de los calores necesarios en cada sección:

$$q_t = \sum_i q_i = Q_i \cdot \rho \cdot Ce \cdot (t_{sli} - t_{mi}) = 1206998 \text{ kcal/h}$$

Obtenemos el flujo másico de vapor necesario obtendremos dividiendo el valor anterior entre la entalpía de vaporización h_v , que, para la presión que utilizaremos (7,0 kg/cm²), tomará el valor 494.2 kcal/kg.

$$\dot{m} = \frac{q_t}{h_v} = 2442 \text{ kg/h}$$

10.4. Refrigeración





1. Para cada sección determinamos los siguientes valores:

- $Q = \sum_i V_i \cdot NR_i$: Caudal de aire que debe pasar por el intercambiador de cada sección.
- NR_k : nº de renovaciones por hora del aire de cada sección.
- %AR.: porcentaje de flujo másico de aire recirculado.
- t_k : temperatura deseada en cada sección.
- ϕ_k : humedad relativa deseada en cada sección.
- $t_{REJ k} = t_k - 3$ (°C) : temperatura de rejilla en cada sección.
- ϕ_{REJ} : humedad relativa en la rejilla de entrada de cada sección. Igual a ϕ_i .
- $t_{RET k} = t_k + 3$ (°C) : temperatura de retorno del caudal de aire de cada sección.
- $\phi_{RET k} = \phi_k + 0.1$: humedad relativa de retorno de cada sección.

Como se comentó con anterioridad, intentaremos mantener una humedad relativa del 50% en todos los espacios.

	Zona Popa		Zona Intermedia Popa			Zona Intermedia Proa			Zona Proa			
Sección	S1/1	S1/2	S2/1	S2/2	S2/3	S3/1	S3/2	S3/3	S4/1	S4/2	S4/3	S4/4
Q_k (m ³ /h)	28770	8280	18060	18170	6720	16590	19090	12768	13650	15870	10500	6951
%AR	0	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
t_k	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
ϕ_k	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
$t_{rej k}$	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
$t_{ret k}$	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
$\phi_{RET k}$	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

2. Determinamos la humedad relativa y los valores de la entalpía en el exterior y en el retorno mediante las siguientes expresiones:

$$W = \frac{M_{VA}}{\frac{1}{\frac{\phi \cdot P^*(t)}{P}} - 1}$$

$$\ln\left(\frac{P^*(t)}{P^*(t^+)}\right) = -\frac{h_{iv}^+ \cdot M_v}{R_u} \cdot \left(\frac{1}{t} - \frac{1}{t^+}\right)$$

$$h = C_{p,a} \cdot (t - t^+) + W \cdot (C_{p,v} \cdot (t - t^+) + h_{iv0}) \text{ kJ/kg}$$

Dónde:

- $t^+ = 298K$: temperatura de referencia generalmente en la termodinámica del aire húmedo.



- $t_0 = 273K$: temperatura de referencia en la escala Celsius.
 - $P^*(t)$: presión de equilibrio bifásico del agua pura a una determinada temperatura.
 - $P^*(t^+) = 3.17 \text{ kPa}$
 - $M_v = 0.018 \text{ kg/mol}$. Masa molar del vapor de agua.
 - $M_A = 0.029 \text{ kg/mol}$. Masa molar del aire.
 - $M_{VA} = 0.622$. Relación entre las masa molares del vapor y del aire.
 - $R_u = 287 \text{ J/(kgK)}$
 - $C_{p,a} = 1000 \text{ J/kgK}$
 - $C_{p,v} = 1900 \text{ J/kgK}$
 - $H_{i0} = 2500 \text{ kJ/kg}$
3. Para determinar la humedad relativa y la entalpía a la entrada de la unidad de refrigeración, punto (1) en el diagrama, aplicamos el balance de la mezcla de los distintos flujos de aire:

$$W_1 = W_{ext} \cdot \left(1 - \frac{\%AR}{100}\right) + W_{RET} \cdot \left(\frac{\%AR}{100}\right)$$

$$h_1 = h_{ext} \cdot \left(1 - \frac{\%AR}{100}\right) + h_{RET} \cdot \left(\frac{\%AR}{100}\right)$$

4. En el punto (2) del diagrama $w_2 = w_1$ y $\phi_2 = 1$.
5. Del punto (3) del diagrama se sabe que $w_3 = w_4$ y $\phi_3 = 1$, por que, mediante las expresiones expuestas en el apartado 2, podemos determinar la humedad relativa y la entalpía para este punto.
6. Establecemos el siguiente balance para obtener la cantidad de agua condensada entre el punto (2) y el punto (4):

$$\dot{m}_{a2} \cdot w_2 = \dot{m}_w + \dot{m}_{a3} \cdot w_3$$

Dónde:

- $\dot{m}_{a2} = \dot{m}_{a3} = 1 \text{ kg/s}$. Flujo másico de aire húmedo.
 - \dot{m}_w : flujo de agua condensada entre los puntos (2) y (3).
7. Obtenemos el calor que deseamos extraer del aire que circula por la máquina de refrigeración mediante la siguiente expresión:

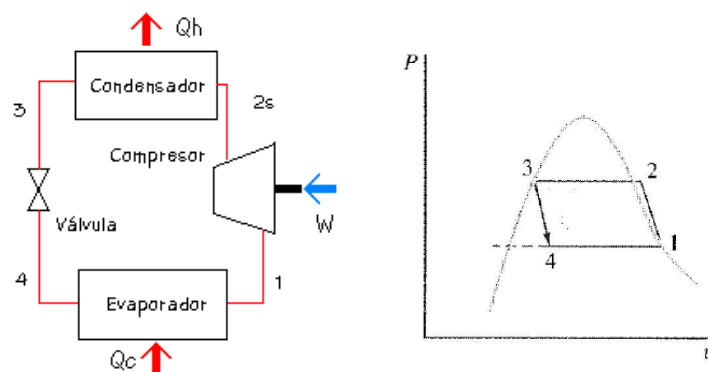
$$Q_{REFRIG} = \frac{Q_k}{\rho_{AIRE}} ((h_1 - h_2) + (h_2 - h_4)) \text{ kW}$$

Donde " Q_k " es el caudal de de aire requerido por la sección correspondiente (m^3/s) y " h_i " es la entalpía en cada uno de los puntos del diagrama.

8. Como resultado de calcular todos los valores anteriores para cada sección, se tiene la siguiente tabla:

	Zona Popa		Zona Intermedia Popa			Zona Intermedia Proa			Zona Proa			
Sección	S1/1	S1/2	S2/1	S2/2	S2/3	S3/1	S3/2	S3/3	S4/1	S4/2	S4/3	S4/4
$P^*(t)$	0,000	3,785	3,785	3,785	3,785	3,785	3,785	3,785	3,785	3,785	3,785	3,785
W_{re}	0,0000	0,0143	0,0143	0,0143	0,0143	0,0143	0,0143	0,0143	0,0143	0,0143	0,0143	0,0143
$h_{re}(kJ/kg)$	0,00	64,42	64,42	64,42	64,42	64,42	64,42	64,42	64,42	64,42	64,42	64,42
w_1	0,029	0,0192	0,0192	0,0192	0,0192	0,0192	0,0192	0,0192	0,0192	0,0192	0,0192	0,0192
$h_1(kJ/kg)$	107,59	78,81	78,81	78,81	78,81	78,81	78,81	78,81	78,81	78,81	78,81	78,81
w_2	0,029	0,0192	0,0192	0,0192	0,0192	0,0192	0,0192	0,0192	0,0192	0,0192	0,0192	0,0192
P_{hi2}	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$P_2^*(t)$	4,518	3,031	3,031	3,031	3,031	3,031	3,031	3,031	3,031	3,031	3,031	3,031
$T_2(K)$	304,06	297,25	297,25	297,25	297,25	297,25	297,25	297,25	297,25	297,25	297,25	297,25
$H_2(kJ/kg)$	105,36	73,1	73,1	73,1	73,1	73,1	73,1	73,1	73,1	73,1	73,1	73,1
$P_3^*(t)$	2,646	2,646	2,646	2,646	2,646	2,646	2,646	2,646	2,646	2,646	2,646	2,646
W_3	0,0082	0,0082	0,0082	0,0082	0,0082	0,0082	0,0082	0,0082	0,0082	0,0082	0,0082	0,0082
$H_3(kJ/kg)$	45,96	45,96	45,96	45,96	45,96	45,96	45,96	45,96	45,96	45,96	45,96	45,96
$W_3=W_4$	0,0082	0,0082	0,0082	0,0082	0,0082	0,0082	0,0082	0,0082	0,0082	0,0082	0,0082	0,0082
P_{hi4}	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$P_4^*(T)$	1,323	1,323	1,323	1,323	1,323	1,323	1,323	1,323	1,323	1,323	1,323	1,323
$T_4(K)$	284,04	284,04	284,04	284,04	284,04	284,04	284,04	284,04	284,04	284,04	284,04	284,04
$H_4(kJ/kg)$	31,79	31,79	31,79	31,79	31,79	31,79	31,79	31,79	31,79	31,79	31,79	31,79
\dot{m}_w (kg agua/s por kg aire/s)	0,0208	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011
$Q_{REFRIG}(kW)$	417,40	64,03	139,66	140,51	51,97	128,29	147,62	98,74	105,56	122,72	81,20	53,75

9. Conocido el calor que se debe extraer, se procede a calcular la máquina de refrigeración, que suministrará el refrigerante a todas las máquinas que refrigeran el aire, es decir, los evaporadores del ciclo del R134a. A continuación se muestra un esquema del circuito del R134a y su ciclo termodinámico:





Teniendo en cuenta lo anterior, aplicamos la termodinámica de un ciclo de refrigeración y deducimos o calculamos las propiedades en cada punto:

- Se ha considerado que el ciclo trabaja entre 110 KPa (en 1 y 4) y 140 KPa (en 2 y 3).
- El punto (3) corresponde a líquido saturado a 140 KPa, por lo tanto se toma el valor de la entalpía en este punto de las tablas de R134a saturado.
- En el punto (4) $h_4 \approx h_3$.
- El punto (1) corresponde a vapor saturado a 110 KPa, por lo tanto se toma el valor de la entalpía y la entropía en este punto de las tablas de R134a saturado.
- Con el valor de la entropía en el punto (1) y las tablas de R134a sobrecalentado (e interpolando) se obtiene la entalpía en (2). Pero como el compresor no es ideal, debemos considerar el rendimiento isentrópico del proceso:

$$\eta_{ISEN} = \frac{(h_2 - h_1)}{(h_{2*} - h_{1*})}$$

Supondremos un valor de 0.7.

Como resultado, obtenemos los siguientes valores, correspondientes al ciclo del refrigerante R134a:

h_1 (kJ/kg)	h_2 (kJ/kg)	h_2^* (kJ/kg)	h_3 (kJ/kg)	h_4 (kJ/kg)
235,705	240,51	242,57	27,08	27,08

10. Se considera que los evaporadores tienen un rendimiento del 70%, por lo tanto el calor que debe ser absorbido por el fluido agente (R134a) en los evaporadores será:

$$Q_{EVAP\ k} = \frac{Q_{REFRIG\ k}}{\eta}$$

Donde Q es el calor que debe perder el aire húmedo de la sección k-ésima.

Además, para obtener los flujos másicos de R134a a través de los evaporadores (el de cada sección) se despeja de la siguiente fórmula:

$$Q_{EVAP\ k} = \dot{m}_k \cdot (h_1 - h_4)$$

	Zona Popa		Zona Intermedia Popa			Zona Intermedia Proa			Zona Proa			
Sección	S1/1	S1/2	S2/1	S2/2	S2/3	S3/1	S3/2	S3/3	S4/1	S4/2	S4/3	S4/4
$Q_{EVAP\ k}$ (kW)	596,28	91,47	199,51	200,73	74,24	183,27	210,89	141,05	150,79	175,32	116,00	76,79
Flujo másico	2,858	0,438	0,956	0,962	0,356	0,878	1,011	0,676	0,723	0,840	0,556	0,368



11. El trabajo que deberán llevar a cabo los compresores será

$$W_{COMP} = \dot{m}_T \cdot (h_{2*} - h_1) = 291,72kW$$

Se dispondrá de tres compresores movidos por motores eléctricos, uno de los cuales será de respeto. Consideraremos un rendimiento mecánico del 65% y un rendimiento eléctrico del 90%.

$$P_{e\ unitaria} = \frac{(W_{COMP}/2)}{\eta_M \cdot \eta_E} = 250kW$$

10.5. Ventiladores

Una vez han sido determinadas las necesidades energéticas, debemos dimensionar los ventiladores que harán circular el aire por los espacios.

Consideraremos ventiladores con un rendimiento mecánico del 65% y con un rendimiento del motor eléctrico del 95%. El diferencial de presión será de 50mmca en la impulsión y de 40mmca en la extracción.

10.5.1. Impulsión

La siguiente tabla muestra el número de ventiladores que se dispondrán por sección y sus potencias:

	Zona Popa		Zona Intermedia Popa			Zona Intermedia Proa			Zona Proa			
Sección	S1/1	S1/2	S2/1	S2/2	S2/3	S3/1	S3/2	S3/3	S4/1	S4/2	S4/3	S4/4
Caudal (m3/s)	8,0	2,3	5,0	5,0	1,9	4,6	5,3	3,5	3,8	4,4	2,9	1,9
Nº Vent. Serv.	8	3	5	5	2	5	6	4	4	5	3	2
Nº Vent. Resp.	4	1	2	2	1	2	3	2	2	2	1	1
P. unitaria (kW)	1,6	1,2	1,6	1,6	1,5	1,5	1,4	1,4	1,5	1,4	1,6	1,6
P. inst. (kW)	19,4	5,0	11,4	11,4	4,5	10,4	12,9	8,6	9,2	10,0	6,3	4,7
P. serv. (kW)	12,9	3,7	8,1	8,2	3,0	7,5	8,6	5,7	6,1	7,1	4,7	3,1



10.5.2. Extracción

Como acabamos de ver, todos los locales contarán con introducción forzada. Los únicos locales que contarán además con extracción forzada serán las cocinas y la sala de control de CCMM. La extracción será independiente, por lo que se deberá disponer de diferentes ventiladores para extraer el aire de cada espacio:

	Cocina	Cocina	Cocina	Sala Control
Sección	S1/1	S3/2	S3/3	S2/2
Caudal (m ³ /s)	7,70	0,38	0,44	0,35
Nº Vent. Serv.	8	1	1	1
Nº Vent. Resp.	4	1	1	1
P. unitaria (kW)	1,6	0,6	0,7	0,6
P. inst. (kW)	18,7	1,2	1,4	1,1
P. serv. (kW)	12,5	0,6	0,7	0,6



11. SISTEMA DE AGUA DE REFRIGERACIÓN

Se dispondrá a bordo de un **sistema de refrigeración centralizado**, es decir, existirá un único intercambiador de calor central, refrigerado por agua de mar, que se encargará de enfriar el agua dulce que circula por el resto de intercambiadores. Esta instalación permite:

- Abaratar las conducciones, pues el agua dulce es menos corrosiva con los materiales féreos.
- Regular las temperaturas aún con restricciones de flujo.
- Refrigerar elementos con temperaturas más altas.

El sistema de agua refrigeración nos permitirá refrigerar:

- Las camisas y culatas de los MMPP y MMAA.
- El aire de carga y el aceite lubricante de los MMPP y MMAA.
- Los compresores de aire comprimido.
- Los compresores de aire acondicionado.
- La gambuza frigorífica, mediante las unidades de refrigeración.
- Las reductoras.
- Chumaceras y bocinas.

Dentro del subsistema de agua dulce podemos realizar dos subdivisiones: **una**, atendiendo a la temperatura del fluido: **circuito de alta temperatura (HT)** y **circuito de baja temperatura (LT)**; **otra**, dependiendo de su posición respecto al motor, distinguiéndose en **subsistema interno** y **subsistema externo**. El sistema se expondrá basándonos en esta última distinción.

11.1. Propiedades del agua dulce utilizada

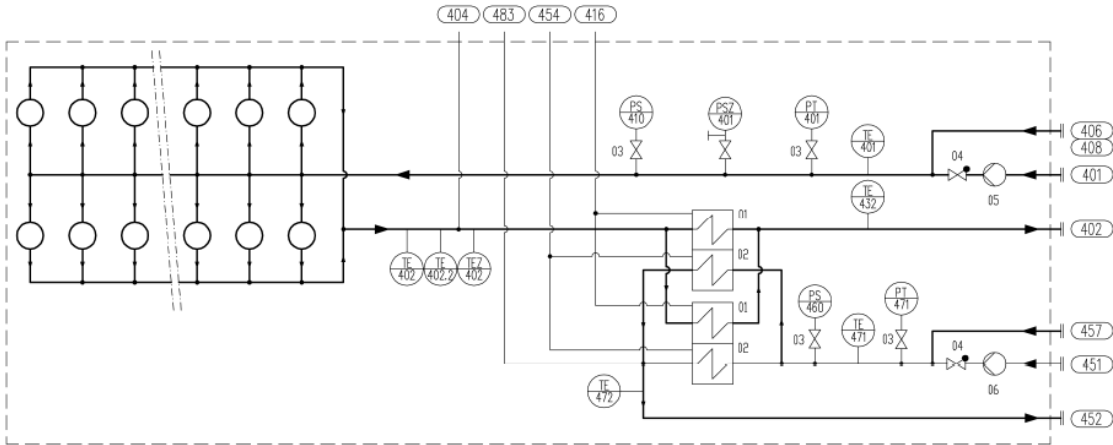
Las propiedades del agua dulce del sistema deben cumplir con lo siguiente:

pH	Mín. 6,5
Dureza	Máx. 10°dH
Cloruros	Máx. 80 mg/L
Sulfatos	Máx. 150 mg/L



11.2. Subsistema interno de refrigeración de los MMPP

11.2.1 Esquema y descripción de la instalación



System components		Sensors and indicators	
01	Charge air cooler, HT section	PS410	HT jacket water stand-by pump start (if GL)
02	Charge air cooler, LT section	PS460	LT stand-by pump start (if GL)
03	Valve	PSZ401	HT cooling water pressure, jacket inlet (if GL)
04	Non return valve	PT401	HT cooling water pressure, engine inlet
05	HT cooling water pump	PT432	HT cooling water pressure, HT CAC outlet (if FAKS)
06	LT cooling water pump	PT471	LT cooling water pressure, engine inlet
		TE401	HT cooling water temperature, jacket inlet
		TE402	HT cooling water temperature, engine outlet, bank A
		TEZ402	HT cooling water temperature, engine outlet, bank A
		TE471	LT cooling water temperature, engine inlet
		TE472	LT cooling water temperature, engine outlet (if FAKS)

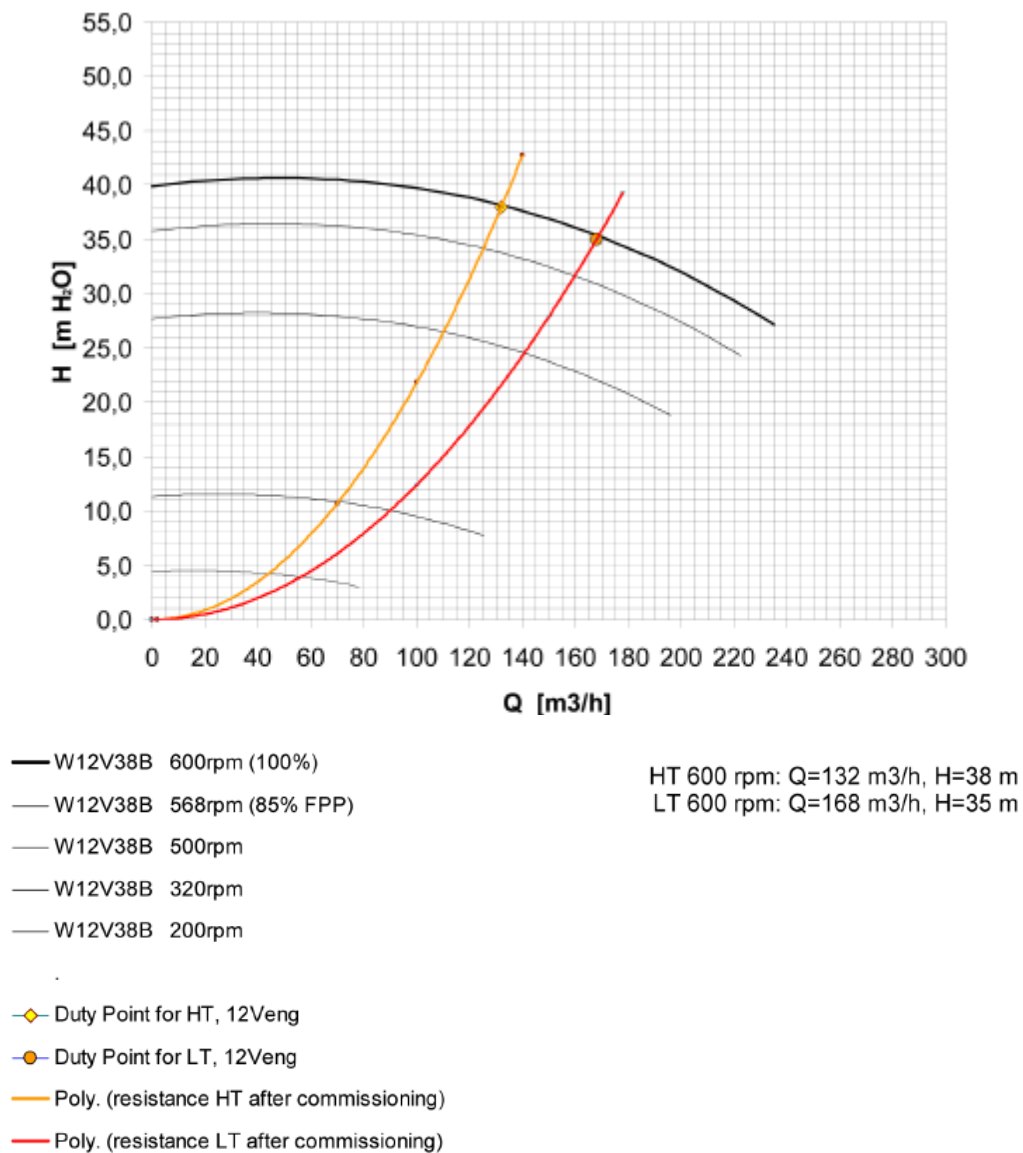
Pipe connections	Size	Pressure class	Standard
401 HT cooling water inlet, in line	DN125	PN10	DIN2576
401 HT cooling water inlet, V engines	DN150	PN10	DIN2576
402 HT cooling water outlet, in line	DN125	PN10	DIN2576
402 HT cooling water outlet, V engines	DN150	PN10	DIN2576
404 HT cooling water air vent, in line	M18x1,5	-	-
	OD12	PN400	DIN2353
404 HT cooling water air vent, V engines	OD12	PN400	DIN2353
406 HT cooling water from preheater, in line	DN100	PN10	DIN2576
406 HT cooling water from preheater, V engines	DN150	PN10	DIN2576
408 HT cooling water from stand-by pump, in line	DN100	PN10	DIN2576
408 HT cooling water from stand-by pump, V engines	DN150	PN10	DIN2576
416 HT cooling water air vent from charge air cooler	OD12	PN400	DIN2353
451 LT cooling water inlet, in line	DN125	PN10	DIN2576
451 LT cooling water inlet, V engines	DN150	PN10	DIN2576
452 LT cooling water outlet, in line	DN125	PN10	DIN2576
452 LT cooling water outlet, V engines	DN150	PN10	DIN2576
454 LT cooling water air vent from charge air cooler	OD12	PN400	DIN2353
457 LT cooling water from stand-by pump, in line	DN100	PN10	DIN2576
457 LT cooling water from stand-by pump, V engines	DN150	PN10	DIN2576
483 LT cooling water air vent from LT circuit, V engines	OD12	PN400	DIN2353



El agua del circuito de alta temperatura (HT) pasa a través de las **camisas de los cilindros**, las **culatas** y de la primera etapa del **enfriador de aire de carga** (recordemos que el enfriador del aire de carga será de dos etapas, lo que permite un mayor aprovechamiento del calor y un calentamiento del aire de carga más eficiente).

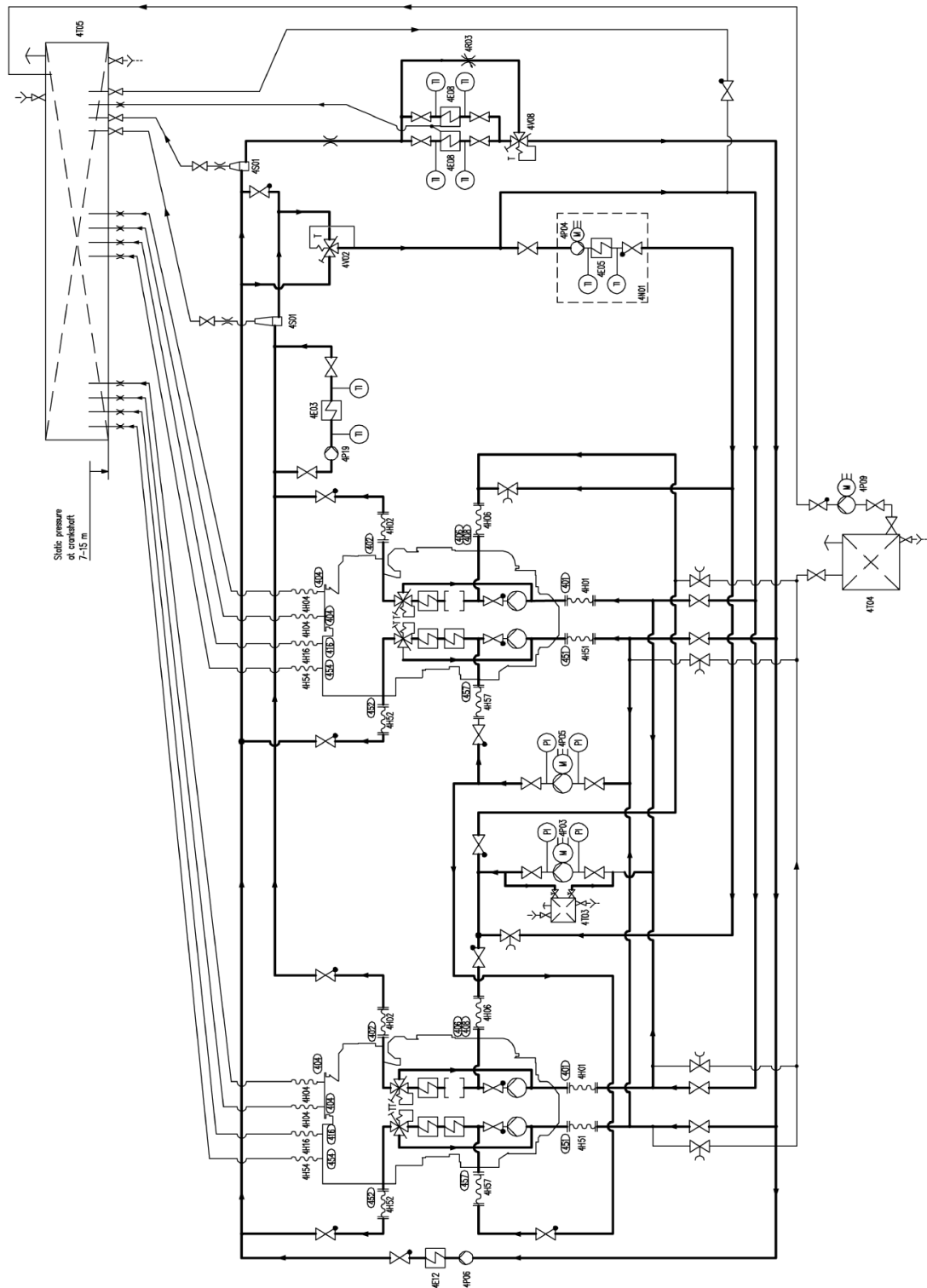
Por su parte, dentro del motor, el agua del circuito de baja temperatura (LT) pasa a través del **enfriador de aceite lubricante**, externo al motor, y de la segunda etapa del **enfriador de aire de carga**.

Existen válvulas termostáticas que regulan la temperatura de salida del agua del motor, obligando a parte del agua a ser recirculado por las bombas de circulación. La válvula termostática del circuito de HT está montada sobre el motor, no así la del circuito de LT.



11.3. Subsistema externo de refrigeración

11.3.1. Esquema y descripción de la instalación





System components	Pipe connections
4E01 Lubricating oil cooler	401 HT cooling water inlet
4E03 Heat recovery	402 HT cooling water outlet
4E05 Heater (preheater)	404 HT cooling water air vent
4E08 Central cooler	406 HT cooling water from preheater
4E12 Cooler (installation parts)	408 HT cooling water from stand-by pump
4HXX Flexible pipe connection*	416 HT cooling water air vent from charge air cooler
4N01 Preheating unit	451 LT cooling water inlet
4P03 Stand-by pump (HT)	452 LT cooling water outlet

System components	Pipe connections
4P04 Circulating pump (preheater)	454 LT cooling water air vent
4P05 Stand-by pump (LT)	457 LT-water from stand-by pump
4P09 Transfer pump	
4R0X Adjustable throttle valve	
4R05 Adjustable throttle valve (HT valve)	
4S01 Air venting	
4T03 Additive dosing tank	
4T04 Drain tank	
4T05 Expansion tank	
4V01 Temperature control valve (HT)	
4V02 Temperature control valve (heat recovery)	
4V03 Temperature control valve (LT)	
4V08 Temperature control valve (central cooler)	* Only required for resiliently mounted engines

En el circuito de agua dulce, las bombas de circulación impulsan el agua a través del intercambiador central, donde es enfriada. Seguidamente circula por el circuito de baja temperatura, dirigiéndose a las camisas, a enfriadores tales como el de aceite lubricante y el de aire de barrido del motor principal, y a diversos componentes (compresores de aire comprimido, condensador de vapor, compresores de aire acondicionado, unidad de refrigeración de la gambuza frigorífica, reductoras, chumaceras y bocinas).

La refrigeración de los **motores auxiliares** se lleva a cabo con agua dulce del circuito de baja temperatura, para lo que se dispone de un by-pass que dirige agua hacia ellos.

Existirán dos bombas de circulación de LT, una de ellas de respeto, con un caudal unitario de 168m³/h y H=35m. Además existirá otra bomba de menor tamaño para permitir la refrigeración en puerto de una pequeña parte de los consumidores. Los tanques de expansión se encargarán de compensar los cambios de volumen y las fugas que se produzcan en el circuito. Además, permiten ventilar el circuito y suministran la presión estática necesaria para evitar la cavitación en las bombas. Dispondrán de alarmas de bajo nivel, sistemas de llenado y prevención de rebose, y estarán equipados para permitir la dosificación de agentes para el tratamiento del agua.



11.3.2. Bombas de circulación de agua dulce de respeto de los MMPP

Serán bombas centrífugas, movidas por motores eléctricos y de los mismos caudales y presiones nominales que las bombas de circulación vistas en el subsistema interno.

11.3.3. Bombas de circulación de agua salada

Serán bombas centrífugas movidas por motores eléctricos. Nuestro buque va a contar con tres bombas idénticas, una de ellas de respeto. Con un caudal unitario de 252m³/h y H=35m.

11.3.4. Válvula termostática del circuito de HT

Disponemos de una válvula externa al motor para regular la temperatura del circuito de alta temperatura. Esto lo logra recirculando parte del caudal hacia la bomba de circulación. La válvula será accionada eléctricamente.

Punto de ajuste: 93°C.

11.3.5. Válvulas termostáticas del circuito de LT

El fabricante recomienda la existencia de una válvula por motor. Existirá una bomba de circulación independiente para la refrigeración el equipamiento externo (generadores de cola, reductora).

Punto de ajuste: 44°C.

11.3.6. Válvula termostática para recuperación de calor

Esta válvula, situada después del dispositivo de recuperación de calor, regula la temperatura máxima del agua proveniente del motor que se mezcla con el agua de alta temperatura antes de la bomba de circulación. Será accionada eléctricamente.

Punto de ajuste: 75°C.

11.3.8. Recuperación de calor. Generación de agua dulce

Dado que se precisa una gran cantidad de agua dulce para cumplir con requerimientos tales como abastecimiento de la tripulación y el pasaje, parte del agua a suministrar se obtendrá a partir de un generador de agua dulce. Mientras el buque esté en puerto, debido a la suciedad del agua de mar, las necesidades quedarán cubiertas con el agua almacenada o a partir del suministro del puerto.

El generador de agua dulce aprovecha el calor residual existente en el agua de HT tras su paso por el motor para producir agua dulce. EL agua salada a partir del cual se generará el agua dulce proviene del colector principal de cámara de máquinas. El circuito va a ir provisto de una válvula termostática para evitar un innecesario enfriamiento.



Las necesidades de agua dulce para consumo del pasaje y la tripulación se estimaron en 210tons/día. Dimensionaremos el generador para satisfacer esta demanda. Suponiendo que el generador aprovecha el 50% de la energía disipada por el agua dulce del circuito de HT y, considerando el aporte de los motores principales y los auxiliares, necesitaríamos 7000 kW, por tanto cumplimos con las necesidades del generador de agua dulce, debido a que solo con los motores principales al 80% de su carga se genera 8000kW de energía disipada.

Un condensador de vacío simple nos puede permitir producir 0,03 tons(día·kW), por lo que, a partir de la energía disipada por el circuito de HT, podríamos generar 210tons/día, suficiente para satisfacer las necesidades determinadas con anterioridad.

11.3.9. Venteo de aire

El aire puede entrar en el sistema después de una parada por revisión o debido a una fuga. EL circuito está equipado con tuberías de ventilación para evacuar el aire de los circuitos de refrigeración. Las conexiones a estas tuberías están situadas en los puntos más altos del circuito.

11.3.10. Tanque de expansión

Este tanque compensa la expansión térmica del agua dulce, sirve de ventilación de los circuitos y proporciona suficiente presión estática para las bombas de circulación. Va a contar con una escotilla para inspección, un sensor de nivel, una alarma de bajo nivel y un sistema para permitir añadir aditivos al agua.

11.3.11. Tanque de drenajes

Cuando el sistema deba ser drenado por trabajos de mantenimiento, el agua dulce del sistema se recogerá en el tanque de drenaje. Se dispone de una bomba para devolver el agua al circuito.

El fabricante de los motores indica que el volumen de agua en el interior del motor es de 0,6 m³ e igual que el volumen del circuito de baja temperatura. Basándonos en ello, y teniendo en cuenta que disponemos de cuatro motores, dimensionaremos el tanque en 4m³.

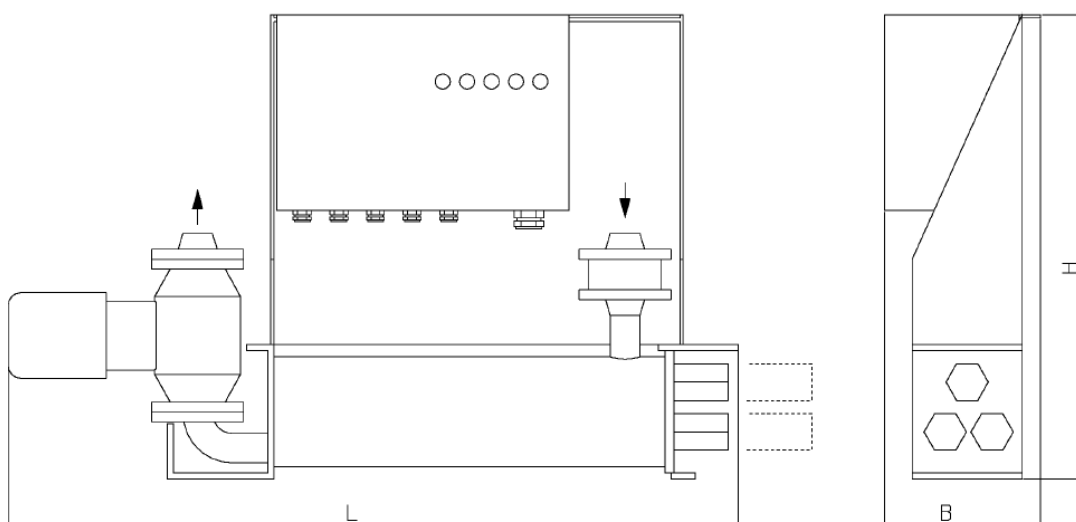
11.3.12. Precalentadores de cilindros de los motores

El agua de refrigeración que circula entre los cilindros debe ser precalentada hasta un valor recomendado de 70°C. Este es un requisito indispensable para instalaciones que trabajen con HFO, como es nuestro caso.

Se dispondrá de un precalentador para cada conjunto de motores principal y otro para los motores auxiliares. El precalentador constará de un calentador de vapor, una bomba de circulación de 10,8m³/h a 0,8bar y de una válvula termostática para controlar la temperatura, que, como dijimos anteriormente, se mantendrá en torno a los 70 °C. El fabricante de los motores principales proporciona la siguiente expresión para dimensionar los precalentadores:

$$P = \frac{(T_1 - T_0)(m_{\text{eng}} \cdot 0,14 + V_{\text{FW}} \cdot 1,16)}{t} + k_{\text{eng}} \cdot n_{\text{cyl}} = 70 \text{ kW}.$$

- P: potencia del precalentador.
- T_1 : temperatura de precalentamiento, 70°C.
- T_0 : temperatura ambiente, 20°C.
- m_{eng} : peso del motor, 88tons.
- V_{FW} : volumen de agua de HT.
- t: tiempo de calentamiento, 12,5h.
- k_{eng} : coeficiente función del motor y que en nuestro caso vale 1,5kW.
- n_{cyl} : nº de cilindros, 12.



Heating power [kW]	L [mm]	H [mm]	B [mm]	Mass [kg] (wet)
72	1260	1190	550	187

12. SERVICIO DE VAPOR

12.1. Descripción

El servicio de vapor es la fuente principal de calor del buque. Permite calentar desde los espacios habilitados a los tanques de combustible o todos aquellos elementos que requieran una fuente de calor.



La fuente principal de vapor son las calderetas de gases de escape. Estas aprovechan el calor residual existente en los gases de escape de los motores principales para la producción, a partir de agua dulce, de vapor a 7,5 kg/cm² de presión. Adicionalmente, se añadirá una caldera auxiliar de quemador para satisfacer las necesidades de vapor en puerto.

El vapor generado en las calderas llega al colector de vapor, desde donde es conducido a los distintos consumidores. La instalación debe ser capaz de satisfacer lo siguiente:

- Calefacción de los tanques de almacén de HFO.
- Calefacción de los tanques de servicio diario de HFO.
- Calefacción de los tanques de sedimentación de HFO.
- Calefacción de los tanques de reboses y derrames.
- Calefacción de los tanques de aceite de servicio de los motores principales.
- Calefacción del tanque de lodos.
- Calefacción de las separadoras de combustible.
- Precalentamiento del agua de los cilindros de los motores principales.
- Calefacción para agua caliente sanitaria.
- Satisfacer las necesidades de vapor del sistema de aire acondicionado.

Una vez que el vapor ha realizado su cometido, es llevado a un condensador atmosférico, donde se condensa obteniéndose agua, que al estar en su estado líquido puede ser bombeada hacia la caldera cerrándose el circuito.

Los condensados procedentes de los purgadores automáticos de todos los serpentines de los tanques e intercambiadores que puedan ensuciar el vapor, como del tanque de sedimentación de servicio diario de fuel oil, calentadores de aceite, etc., serán convenientemente agrupados y dirigidos hacia el tanque-filtro, pasando por un tanque de observación de purgas que cuenta con un detector de hidrocarburos.

Los condensados procedentes de los restantes serpentines e intercambiadores que no puedan sufrir contaminación por hidrocarburos serán llevados al condensador de control y de éste al tanque-filtro.

Las bombas de alimentación de agua de la caldera auxiliar aspirarán desde el tanque-filtro y descargarán a la caldera a través de dos líneas separadas.

Las bombas de alimentación de las calderetas de escape tomarán agua de la caldera auxiliar y descargarán al colector superior de la misma caldera, que se utiliza como separador del vapor del agua que lo acompaña.

El tanque-filtro y el tanque de observación de purgas serán rellenados por los generadores de agua dulce y sus drenajes irán a la sentina.

En este apartado se verá con detalle las necesidades de cada uno de los consumidores de vapor a bordo con el fin de diseñar la planta generadora.



12.2. Balance de vapor

En este apartado se presentan los balances térmicos del vapor necesario en las diferentes condiciones de operación del buque, así como las hipótesis y cálculos necesarios para realizarlos.

El vapor es generado a una presión absoluta de 7,5 kgf/cm², pero supondremos unas pérdidas de 0,5 kgf/cm² en las tuberías, de modo que a los consumidores llegará vapor a 7,0 kgf/cm², dicho vapor se encuentra a una temperatura de 164,95°C. Donde la entalpía de vaporización es de 494,21 kcal/kg.

Consideraremos las necesidades energéticas de cada consumidor en dos partes: por un lado se deberá aportar calor para levantar la temperatura hasta un valor dado en un tiempo determinado, y, por otro lado, se deberá aportar calor para compensar las pérdidas hacia el exterior y mantener el elemento a esa temperatura.

12.2.1. Datos a considerar

12.2.1.1. Propiedades de fluidos

Fluido	Densidad (kg/m ³)	Calor específico
Agua dulce	1000	1
Agua salada	1025	0,96
HFO	991	0,46
MDF	900	0,5
Aceite	900	0,47
Aguas aceitosas	1000	0,5
Lodos	900	0,6
Aire	1,017	0,24

12.2.1.2. Temperaturas del medio exterior

Medio	Temperatura (°C)
Agua de mar	0
Aire atmosférico	5
Espacio vacío	10
Cámara de máquinas	20
Habilitación	20
Tanque de lastre	5
Tanque frío o zona de carga	5



12.2.1.3. Elevación de temperatura de tanques

Tanque	Temperatura inicial	Temperatura final	Intervalo de tiempo
Almacén HFO	5	40	48
Sedimentación HFO	40	65	12
Aceite sucio	30	65	2

12.2.1.4. Coeficientes de termo-transferencia

Superficie límite	k(Kcal/h m ² °C)
Fondo plano y parte inferior del pantoque	7.5
Zona superior del pantoque y costado bajo la flotación	15.5
Costado sobre la flotación (mojado)	14.0
Costado sobre la flotación (seco)	4.0
Cubierta permanentemente mojada	5.5
Cubierta permanentemente seca	4.5
Mamparo de espacio vacío o cámara de máquinas	4.8
Mamparo con tanque frío o bodega de carga	7.0
Cubierta superior	4.5
Cubierta principal	5.5
Mamparos recubiertos de aislamiento térmico	1.0

12.2.2. Pérdidas de calor de los tanques

Dado que pretendemos mantener la temperatura del fluido a una temperatura superior a la del entorno, existirán unas pérdidas de calor hacia el exterior que estimaremos mediante la siguiente expresión:

$$q_P = k \cdot S \cdot (T_{INT} - T_{EXT})$$

Dónde:

- Q_P : Calor perdido por transmisión de calor (kcal/h).
- S : Superficie de transmisión (m²).
- T_{INT} : Temperatura interior.
- T_{EXT} : Temperatura exterior (entorno).
- k : Coeficiente de transmisión de calor. Tomará los valores definidos en la tabla del apartado 12.2.1.4.



12.2.3. Calor necesario para elevar la temperatura de los tanques

Además de las pérdidas que hemos considerado anteriormente, en algunos tanques existirá la necesidad de elevar la temperatura hasta la temperatura deseada en el tanque:

$$q_T = \frac{\rho \cdot V \cdot C_e \cdot (T_2 - T_1)}{\Delta t} = \frac{m \cdot C_e \cdot (T_2 - T_1)}{\Delta t}$$

Dónde:

- q_T : Calor necesario para elevar la temperatura del fluido (kcal/h)
- ρ : Densidad del líquido contenido en el tanque (kg/m^3)
- V : Volumen del líquido.
- m : masa de fluido.
- C_e : capacidad calorífica del líquido contenido en el tanque ($\text{kcal/kg}^\circ\text{C}$)
- T_1 : Temperatura inicial.
- T_2 : Temperatura final.
- Δt : Tiempo de calentamiento, en h.

12.2.4. Desarrollo del balance de vapor

El calor que deberá aportar el vapor que circule por el serpentín deberá ser suficiente para elevar la temperatura del tanque y para compensar las pérdidas por transferencia al exterior:

$$Q = q_T + q_P$$

El flujo másico de vapor necesario lo obtendremos dividiendo el valor anterior entre la entalpía de vaporización h_v , que, para la presión que utilizaremos ($7,5 \text{ kg/cm}^2$), tomará el valor $492,6 \text{ kcal/kg}$.

$$\dot{m} = \frac{Q}{h_v} \text{ kg/h}$$

A continuación se detalla el cálculo de las necesidades energéticas para cada uno de los consumidores. Los cálculos de las necesidades de vapor de los tanques se encuentran en el Anexo 2.



12.2.5. Calentadores de HFO de los motores principales

Los precalentadores de HFO del sistema de alimentación de combustible de los MMPP fueron estudiados en el apartado 5.2.9. Entonces se dimensionó el precalentador considerando el consumo de combustible a plena carga y añadiendo un 15% de margen.

$$q = Q \cdot \rho \cdot C_e \cdot (T_S - T_E) = 26.463 \text{ kcal/h}$$

Dónde:

- Q: Caudal calculado en el apartado 5.2.9.(1,29m³/h)
- ρ: Densidad del líquido. (991 kg/m³)
- C_e: Calor específico del HFO.(0,46 kcal/kg⁰C)
- T_S y T_E son las temperaturas de salida y entrada del precalentador: 135°C y 90°C, respectivamente.

$$\dot{m} = \frac{q}{h_v} = 53,72 \text{ kg/h}$$

Tenemos dos calentadores para cada conjunto de motores por línea de eje, uno de ellos de respeto. El valor obtenido sólo corresponde a las necesidades de vapor para cada conjunto de motores. Las necesidades de vapor totales serán de;

$$\dot{m}_T = 2 \cdot 53,72 = 107,4 \text{ kg/h}$$

12.2.6. Calentadores de HFO de los motores auxiliares

Lo dimensionamos para satisfacer las necesidades de los tres auxiliares funcionando a la vez y procediendo del mismo modo que con los motores principales

$$q = Q \cdot \rho \cdot C_e \cdot (T_S - T_E) = 4718 \text{ kcal/h}$$

$$\dot{m} = \frac{q}{h_v} = 9,58 \text{ kg/h}$$

Las necesidades de vapor de los calentadores de los motores auxiliares será de un total de;

$$\dot{m}_T = 3 \cdot 9,58 = 28,7 \text{ kg/h}$$



12.2.7. Calentadores de vapor de las depuradoras de HFO

Los precalentadores de las depuradoras de HFO fueron estudiados en el apartado 5.4.9.

$$q = Q \cdot \rho \cdot C_e \cdot (T_S - T_E) = 123.082 \text{ kcal/h}$$

Dónde:

- Q: Caudal calculado en el apartado 5.4.9. (9m³/h)
- ρ: Densidad del líquido. (991 kg/m³)
- C_e: Calor específico del HFO. (0,46 kcal/kg⁰C)
- T_S y T_E son las temperaturas de salida y entrada del precalentador: 95⁰C y 65⁰C, respectivamente.

Tendremos dos calentadores uno por depuradora que abastecerá a cada conjunto de motores por línea de eje. Las necesidades de vapor total serán de;

$$\dot{m} = \frac{q}{h_v} = 250 \text{ kg/h}$$

12.2.8. Calentador de vapor de la depuradora de MDF

Procedemos del mismo modo que en el caso anterior, pero, en este caso, suponiendo temperaturas de entrada y salida de 10⁰C y 30⁰C, respectivamente. Sólo tenemos un precalentador.

$$q = Q \cdot \rho \cdot C_e \cdot (T_S - T_E) = 9000 \text{ kcal/h}$$

Dónde:

- Q: Caudal (1m³/h)
- ρ: Densidad del líquido. (900 kg/m³)
- C_e: Calor específico del MDF. (0,5 kcal/kg⁰C)
- T_S y T_E son las temperaturas de salida y entrada del precalentador: 30⁰C y 10⁰C, respectivamente.

$$\dot{m} = \frac{q}{h_v} = 18,3 \text{ kg/h}$$



12.2.9. Calentadores de vapor de las depuradoras de aceite de los MMPP

Disponemos de dos depuradoras de aceite lubricante, una por cada conjunto de motores por línea de eje, y cada una cuenta con el correspondiente precalentador. Los precalentadores fueron descritos en el apartado 6.2.12. En ellos se produce un salto de temperatura de 65°C a 95°C, y fluye un caudal de 2,55m³/h.

Aplicando las expresiones utilizadas en apartados anteriores, obtenemos:

$$q = Q \cdot \rho \cdot C_e \cdot (T_S - T_E) = 32359,5 \text{ kcal/h}$$

$$\dot{m} = \frac{q}{h_v} = 65,7 \text{ kg/h} \quad \dot{m}_T = 2 \cdot 70,8 = 131,4 \text{ kg/h}$$

12.2.10. Calentadores de vapor de las depuradoras de aceite de los MMAA

Procedemos como en el caso anterior, pero dimensionando para los tres auxiliares. Disponemos de una depuradora de aceite lubricante, con el correspondiente precalentador. En el precalentador se produce un salto de temperatura de 65°C a 95°C, y fluye un caudal de 0,88 m³/h.

Aplicando las expresiones utilizadas en apartados anteriores, obtenemos:

$$q = Q \cdot \rho \cdot C_e \cdot (T_S - T_E) = 11167 \text{ kcal/h}$$

$$\dot{m} = \frac{q}{h_v} = 22,7 \text{ kg/h}$$

12.2.11. Calentadores de vapor de los colectores de retorno de los MMPP

Las tuberías del sistema de alimentación de combustible van acompañadas de tuberías de vapor con el fin de que, en situaciones en las que ha habido que detener el motor e interrumpir la circulación del combustible, elevar la temperatura del combustible para poder reanudar el servicio.

El volumen a calentar será estimado como el consumo de combustible los dos motores a plena carga y durante 30 minutos. Además, consideraremos un tiempo de calefacción de 2h, una temperatura inicial de 20°C (temperatura de CCMM) y una temperatura final de 90°C (temperatura de los tanques de servicio diario).



Habrán dos colectores de retorno, uno por sistema de alimentación de combustible.

$$q = Q \cdot \rho \cdot C_e \cdot (T_S - T_E) = 25528,2 \text{ kcal/h}$$

$$\dot{m} = \frac{q}{h_v} = 51,6 \text{ kg/h} \quad \dot{m}_T = 2 \cdot 51,6 = 103,2 \text{ kg/h}$$

12.2.12. Calentadores de vapor de los tanques de desaireación de las unidades de alimentación de combustible

Los tanques de desaireación de las unidades de combustible, tal y como se dijo en el apartado 5.2.7, deben estar calefactados. Tienen un volumen de 100L y su temperatura se mantendrá en 90°C.

$$q = Q \cdot \rho \cdot C_e \cdot (T_S - T_E) = 484 \text{ kcal/h}$$

$$\dot{m} = \frac{q}{h_v} = 0,98 \text{ kg/h} \quad \dot{m}_T = 2 \cdot 0,98 = 1,96 \text{ kg/h}$$

12.2.13. Precalentadores de agua dulce de los cilindros de los MMPP

La potencia necesaria ya fue determinada en el apartado 10.3.12, a partir de una expresión proporcionada por el fabricante de los motores. Disponemos de un precalentador por cada conjunto de motores por línea de eje.

$$q = Q \cdot \rho \cdot C_e \cdot (T_S - T_E) = 120576 \text{ kcal/h}$$

$$\dot{m} = \frac{q}{h_v} = 244,8 \text{ kg/h} \quad \dot{m}_T = 2 \cdot 244,8 = 489,6 \text{ kg/h}$$

12.2.14. Precalentadores de agua dulce de los cilindros de los MMAA

Dispondremos de un calentador para el circuito que abastece los tres motores auxiliares.

$$q = Q \cdot \rho \cdot C_e \cdot (T_S - T_E) = 36000 \text{ kcal/h}$$

$$\dot{m} = \frac{q}{h_v} = 73,1 \text{ kg/h}$$



12.2.15. Calentador de agua dulce sanitaria

Se estima que el consumo medio de agua caliente sanitaria es un tercio del consumo de agua dulce sanitaria, es decir, 53,4 L por persona y día. Por tanto, el consumo medio de agua caliente sanitaria requerida por día a bordo será de 44,8 tons/día, es decir, 1.87m³/h.

Supondremos una temperatura antes del calentador de 5°C (temperatura del tanque de agua dulce), y una temperatura a la salida de 55°C (queremos tener una temperatura en los grifos de 50°C y consideraremos un margen de 5°C por las previsibles pérdidas de calor del circuito).

El calor a aportar vendrá definido por la siguiente expresión:

$$q = Q \cdot \rho \cdot C_e \cdot (T_S - T_E) = 93500 \text{ kcal/h}$$

$$\dot{m} = \frac{q}{h_v} = 189,8 \text{ kg/h}$$

12.2.16. Servicio de hotel

Las necesidades de vapor para los servicios de lavandería, limpieza interior, comida, cocina y mesa caliente se estiman en un 20% de las necesidades de vapor para calentar el agua caliente sanitaria. Por tanto:

$$q = 20\% \text{ de } \left(93500 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} \right) = 18700 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

$$\dot{m} = \frac{q}{h_v} = 38 \text{ kg/h}$$

12.2.17. Calentadores de aire acondicionado de habitación

Los calentadores fueron dimensionados en el apartado 10.3 de este cuaderno, dentro del apartado relativo al sistema de aire acondicionado. El resultado fue el siguiente:

$$q_t = \sum_i q_i = Q_i \cdot \rho \cdot C_e \cdot (t_{SI i} - t_{M i}) = 1206998 \text{ kcal/h}$$

$$\dot{m} = \frac{q_t}{h_v} = 2442 \text{ kg/h}$$



12.3. Balance de vapor

A continuación se resumen las necesidades de vapor en condiciones de navegación y en puerto.

Necesidades de vapor		Navegación		Puerto	
Consumidor	Flujo másico	Ku	Flujo másico	Ku	Flujo másico
T. Almacén HFO 1 (Elevación Temp.)	105.00	0.80	84.00	0.40	42.00
T. Almacén HFO 2 (Elevación Temp.)	105.00	0.80	84.00	0.40	42.00
T. Almacén HFO 3 (Elevación Temp.)	105.00	0.80	84.00	0.40	42.00
T. Almacén HFO 4 (Elevación Temp.)	105.00	0.80	84.00	0.40	42.00
T. Almacén HFO 5 (Elevación Temp.)	61.69	0.80	49.35	0.40	24.68
T. Almacén HFO 6 (Elevación Temp.)	61.69	0.80	49.35	0.40	24.68
T. Servicio diario HFO 1 (Elevación Temp.)	0.00	0.80	0.00	0.40	0.00
T. Servicio diario HFO 2 (Elevación Temp.)	0.00	0.80	0.00	0.40	0.00
T. Sedimentación HFO 1 (Elevación Temp.)	211.67	0.80	169.33	0.40	84.67
T. Sedimentación HFO 2 (Elevación Temp.)	211.67	0.80	169.33	0.40	84.67
T. Aceite sucio (Elevación Temp.)	322.25	0.80	257.80	0.40	128.90
T. Almacén HFO 1 (Perdidas)	34.49	0.60	20.70	0.60	20.70
T. Almacén HFO 2 (Perdidas)	34.49	0.60	20.70	0.60	20.70
T. Almacén HFO 3 (Perdidas)	46.30	0.60	27.78	0.60	27.78
T. Almacén HFO 4 (Perdidas)	46.30	0.60	27.78	0.60	27.78
T. Almacén HFO 5 (Perdidas)	30.05	0.60	18.03	0.60	18.03
T. Almacén HFO 6 (Perdidas)	30.05	0.60	18.03	0.60	18.03
T. Servicio diario HFO 1 (Perdidas)	67.10	0.80	53.68	0.90	60.39
T. Servicio diario HFO 2 (Perdidas)	67.10	0.80	53.68	0.90	60.39
T. Sedimentación HFO 1 (Perdidas)	44.19	0.60	26.51	0.90	39.77
T. Sedimentación HFO 2 (Perdidas)	44.19	0.60	26.52	0.90	39.77
T. Aceite sucio (Perdidas)	26.39	0.40	10.56	0.30	7.92
Precalentador HFO MMPP	107.40	0.90	96.66	0.00	0.00
Precalentador HFO MMAA	28.70	0.66	18.94	0.40	11.48
Precalentadores separadoras HFO	250.00	0.90	225.00	0.30	75.00
Precalentador separadora MDF	18.30	0.90	16.47	0.30	5.49
Precalentadores separadoras aceite MMPP	131.40	0.90	118.26	0.30	39.42
Precalentadores separadoras aceite MMAA	22.70	0.90	20.43	0.30	6.81
Colectores de retorno MMPP	103.20	0.90	92.88	0.40	41.28
Tanques de desaireación	1.96	0.90	1.76	0.30	0.59
Precalentadores agua cilindros MMPP	73.10	0.00	0.00	0.90	65.79
Precalentadores agua cilindros MMAA	189.80	0.66	125.27	0.40	75.92
Calentadores agua dulce sanitaria	38.00	0.90	34.20	0.30	11.40
Calentadores aire acondicionado	2442.00	0.90	2197.80	0.30	732.60
Total	5166.18		4282.80		1922.61



12.4. Planta generadora de vapor

12.4.1. Dimensionamiento de la planta generadora de vapor

Nuestra planta de producción de vapor estará compuesta de:

- Dos caldereteras, que aprovecharán la energía residual existente en los gases de escape de dos de los cuatro motores principales existentes, para producir vapor.
- Una caldera auxiliar, alimentada con HFO, que permitirá satisfacer la demanda de vapor cuando el buque esté en puerto.

Podemos calcular la capacidad de producción de vapor en las calderetas de recuperación de los gases de escape, mediante la siguiente expresión:

$$Q_V = \frac{Q_{GE} \cdot C_e \cdot (T_E - T_S)}{h_V - h_A} \cdot \eta_{CALDERA}$$

Dónde:

- Q_V : caudal de vapor generado.
- Q_{GE} : caudal de los gases de escape por motor. En condiciones de servicio, es igual a 14.5kg/s.
- C_e : Calor específico de los gases de escape, 0.25 kcal/(kg°C).
- T_E : Temperatura de entrada a la caldereta de los gases de escape. Consideraremos la temperatura a la salida de la turbosoplante en condiciones de servicio, 320°C, menos 5°C que suponemos que pierde el flujo de gases mientras llega a la caldereta. Por tanto, $T_E = 315^\circ\text{C}$.
- T_S : Temperatura de salida de la caldereta de los gases de escape. Debe ser, por un lado, mayor que la temperatura de rocío del SO₂, 180°C, con el fin de evitar la formación de ácido sulfúrico, y, por otro lado, al menos 15 °C más que la temperatura de saturación del vapor generado (165°C, temperatura de saturación del vapor a 7.5 kg/cm²). Consideraremos un valor de 185°C.
- h_V : entalpía del vapor a 7.5 kg/cm², 661,6 kcal/kg.
- h_A : entalpía del agua de alimentación a 50°C, 50 kcal/kg.
- $\eta_{CALDERA}$: rendimiento de la caldereta. Consideraremos $\eta_{CALDERA} = 0.95$.

Sustituyendo los valores conocidos, obtenemos las siguientes capacidades de producción de vapor:

Caudal Vapor (1 motor)	2773.87 kg/h
Caudal Vapor Total	11095.48 kg/h



Nuestras necesidades en navegación suponen menos de la capacidad total calculada, por lo que no será necesario aprovechar toda la energía disponible en los gases de escape, e instalaremos dos calderetas capaces de producir 2300 kg/h cada una.

Además, contaremos con una caldera auxiliar capaz de satisfacer las necesidades de vapor en puerto con una capacidad de 2000kg/h.



13. CÁMARA DESATENDIDA

Se dotará al buque de cámara de máquinas desatendida (UMS, Unattended machinery space(s)). Esto supondrá que el buque disponga de los medios necesarios para que, en cualquier situación, incluso en maniobras de entrada y salida de puerto, la operación sea tan segura como si la cámara de máquinas estuviera atendida (esto no se aplica a las operaciones de carga y descarga).

El Reglamento de la Sociedad de Clasificación establece los requisitos que debe cumplir el sistema de automatización del buque para recibir esta notación. Entre ellos están los siguientes:

- Sistema de alarmas de la maquinaria:
 - La maquinaria estará provista de las alarmas y dispositivos de seguridad listados en el Anexo 1.
 - Se dispondrá de un sistema de indicación de alarmas audible y visual disponible desde la acomodación de los oficiales, que ese activará automáticamente cuando la alarma no sea reconocida en cámara de máquinas en un tiempo determinado.
 - También se dispondrá de un sistema de indicación de alarmas audible y visual disponible desde el puente de navegación que permitirá a un oficial saber qué fallo ha tenido lugar y si se está procediendo a su solución.
- Control de la maquinaria principal desde el puente:
 - Se podrá controlar la velocidad de giro y el paso de las hélices.
 - El control de los motores propulsores se llevará a cabo desde una de las estaciones de control a la vez. Para ello debe asegurarse una adecuada transición en el control entre el puente y la sala de control de cámara de máquinas.
 - Se dispondrá de dos medios de comunicación entre la sala de control de CCMM y el puente, siendo uno de ellos independiente del suministro eléctrico principal.
 - Existirá un sistema de alarmas visuales y audibles en el caso de que falle el suministro eléctrico del puente.
- Estaciones de control de la maquinaria. Se dispondrá de locales para controlar todo el sistema de alarmas desde los cuales se podrá controlar la maquinaria (sólo será posible hacerlo desde una estación a la vez). Para la transición entre locales se dispondrá de los convenientes medios de bloqueo de seguridad.
- Control de válvulas controladas automáticamente. Se dispondrá de medios alternativos para operarlas cuando fallen y se diseñará el sistema de modo que los fallos en el suministro de electricidad no conduzcan a situaciones inseguras.



- Sistema de alarmas de detección de incendios. Entre otras especificaciones, deberá cumplir con lo siguiente:
 - Se dispondrá de unidades de detección en el puente de navegación y en las oficinas contra-incendios.
 - Existirán paneles indicadores de la situación del incendio detectado.
 - Existirá un sistema de alarmas audibles diferenciado de otros sistemas de alarmas, el cual podrá ser activado desde espacios de máquinas, el puente de navegación o el local contra-incendios.
- Sistema de control del nivel de sentinas. Se dispondrá de detectores del nivel de líquido en sentinas, capaces de cuantificar la acumulación de líquidos para cualquier situación de trimado o escora.
- Suministro eléctrico. Ante el fallo de uno de los generadores en servicio, el resto deberá ser capaz de proporcionar potencia para los servicios esenciales.
- Además, se considerará lo siguiente:
 - Se dispondrá de mecanismos de bloqueo de seguridad para evitar que maquinaria que pueda arrancar automáticamente o por control remoto, arranque bajo condiciones que puedan dañar el equipo.
 - Se garantizará el arranque automático de la bomba de respeto cuando la presión de descarga de la bomba principal caiga por debajo de un valor predeterminado.
 - En los casos en los que existe una alarma de primera etapa, una alarma de segunda etapa y una parada automática del equipo, los sensores y circuitos utilizados en la alarma de segunda etapa y la parada automática será independientes de aquellos empleados en la alarma de primera etapa.
 - El tanque que recoja las fugas del circuito de alimentación de combustible contará con una alarma de nivel.
 - Se dispondrá de monitorización de las temperaturas de la niebla de aceite del cárter.



14. OTROS ESPACIOS

14.1. Taller

Dispondrá de los siguientes elementos:

- Torno eléctrico de 1500mm entre centros.
- Taladro eléctrico para taladros hasta 25mm de diámetro.
- Equipo de soldadura eléctrico de 400A de capacidad de salida.
- Equipo portátil de oxiacetileno para corte y soldadura.
- Banco de prueba de inyectores.
- Máquina de afilar eléctrica.
- Esmeriladora de sobremesa.
- Banco de trabajo con dos tornillos de ajuste.
- Taquilla metálica.
- Zona de fontanería con respetos.
- Lavabo

14.2. Paños de máquinas

Dispondrán de armarios y cajas para almacenar materiales y piezas de respeto, los cuales estarán debidamente etiquetados.

**Anexo 1. Cálculos de ventilación de los espacios de carga**

Espacios de carga	Area (m ²)	H (m)	V (m ³)	Nº renov./h	Caudal	Introducción			Extracción			P. total inst. (kW)	P. total serv. (kW)
						Nº serv.	Nº resp.	P. unitaria (kW)	Nº serv.	Nº resp.	P. unitaria (kW)		
Local servo	190	4	760	25	19000	2	1	2.34	2	1	1.87	12.65	8.43
Taller eléctrico	70	4	280	30	8400	2	1	1.04	2	1	0.83	5.61	3.74
Local de MMAA	300	4	1200	71	84960	6	4	3.49	6	2	2.79	57.27	37.71
Local de MMPP	560	4	2240	249	558288	10	8	13.77	10	8	11.01	446.07	247.82
Local separadoras	156	4	624	50	31200	2	1	3.85	2	1	3.08	20.77	13.85
Taller mecánico	90	4	360	30	10800	1	1	2.66	1	1	2.13	9.59	4.79
Local de hélices transversales	100	4	400	74	29520	2	1	3.64	2	1	2.91	19.66	13.10
Local tratamiento aguas	90	4	360	30	10800	1	1	2.66	1	1	2.13	9.59	4.79
Local CI y Sentinas	90	4	360	30	10800	1	1	2.66	1	1	2.13	9.59	4.79
Local del generador de emergencia	35	2.9	101.5	20	2030	1	1	0.50	1	1	0.40	1.80	0.90
Local de baterías	35	2.9	101.5	20	2030	1	1	0.50	1	1	0.40	1.80	0.90
												598.73	342.08

**Anexo 2. Cálculos de las pérdidas y elevación de la temp. de los tanques.**

Tanque almacén HFO (1,2)						
Cara	Espacio Adyacente	S(m ²)	K (kcal/m ² °C)	Tint (°C)	Text (°C)	Q _p (kcal/h)
Superior	CCMM	46.66	4.8	40.0	5	7838.21
Inferior	Espacio vacío	46.66	4.8	40.0	10	6718.46
Estribor	Espacio vacío	22.40	4.8	40.0	10	3225.60
Babor	Tanque alm. HFO	22.40	7.0	40.0	40	0.00
Proa	Espacio vacío	25.52	4.8	40.0	10	3674.16
Popa	Tanque sed. HFO	25.52	7.0	40.0	65	-4465.13
Total perdidas tanque almacén HFO						16991.31

Tanque almacén HFO (3,4)						
Cara	Espacio Adyacente	S(m ²)	K (kcal/m ² °C)	Tint (°C)	Text (°C)	Q _p (kcal/h)
Superior	CCMM	46.66	4.8	40.0	20	4478.98
Inferior	Tanque lastre	46.66	7.0	40.0	5	11430.72
Estribor	Espacio vacío	22.40	4.8	40.0	10	3225.60
Babor	Tanque alm. HFO	22.40	7.0	40.0	40	0.00
Proa	Tanque alm. HFO	25.52	7.0	40.0	40	0.00
Popa	Espacio vacío	25.52	4.8	40.0	10	3674.16
Total perdidas tanque almacén HFO						22809.46

Tanque almacén HFO (5,6)						
Cara	Espacio Adyacente	S(m ²)	K (kcal/m ² °C)	Tint (°C)	Text (°C)	Q _p (kcal/h)
Superior	CCMM	27.40	4.8	40.0	20	2630.78
Inferior	Tanque lastre	27.40	7.0	40.0	5	6713.98
Estribor	Espacio vacío	14.11	4.8	40.0	10	2031.12
Babor	Tanque alm. HFO	14.11	7.0	40.0	40	0.00
Proa	Espacio vacío	23.80	4.8	40.0	10	3427.20
Popa	Tanque alm. HFO	23.80	7.0	40.0	40	0.00
Total perdidas tanque almacén HFO						14803.08



Tanque Servicio Diario HFO (1,2)						
Cara	Espacio Adyacente	S(m ²)	K (kcal/m ² °C)	Tint (°C)	Text (°C)	Q _p (kcal/h)
Superior	Cubierta principal	27.808	4.5	90.0	10	10010.88
Inferior	Tanque sed. HFO	27.808	7.0	90.0	65	4866.40
Estribor	CCMM	11.85	4.8	90.0	20	3981.60
Babor	Tanque SD HFO	11.85	7.0	90.0	90	0.00
Proa	CCMM	21.12	4.8	90.0	20	7096.32
Popa	CCMM	21.12	4.8	90.0	20	7096.32
Total perdidas tanque servicio diario HFO						33051.52

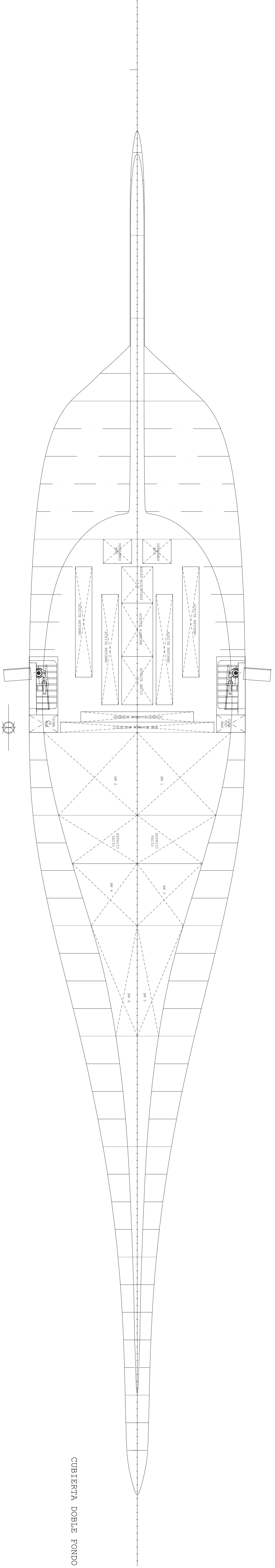
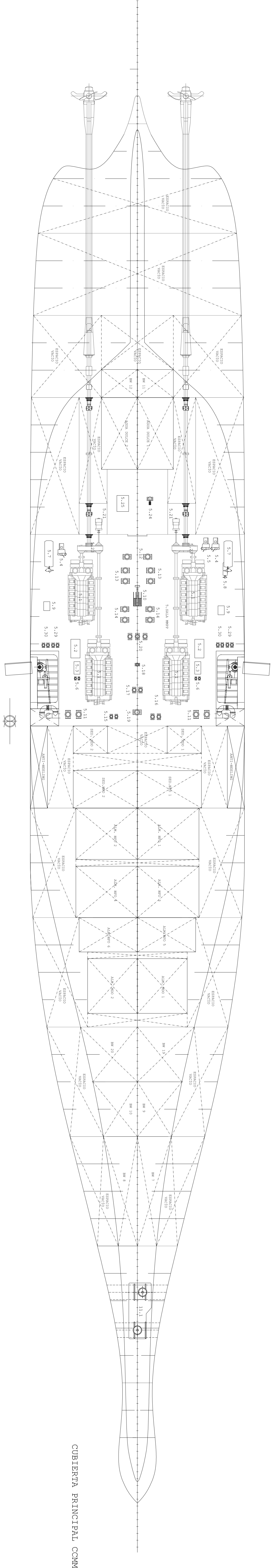
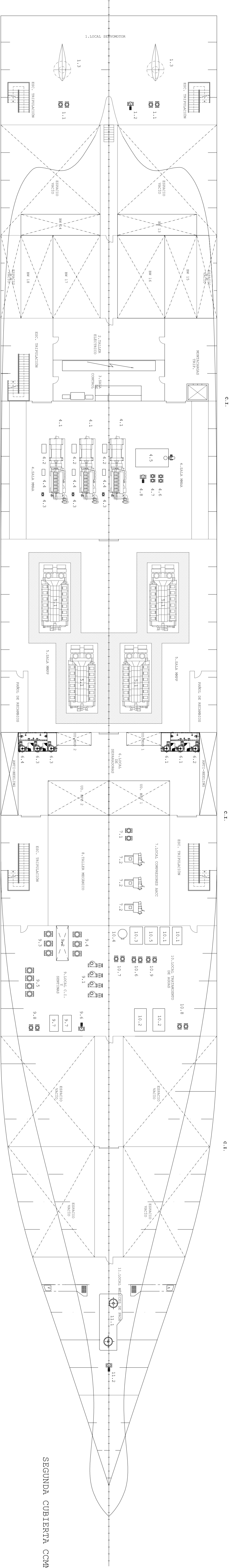
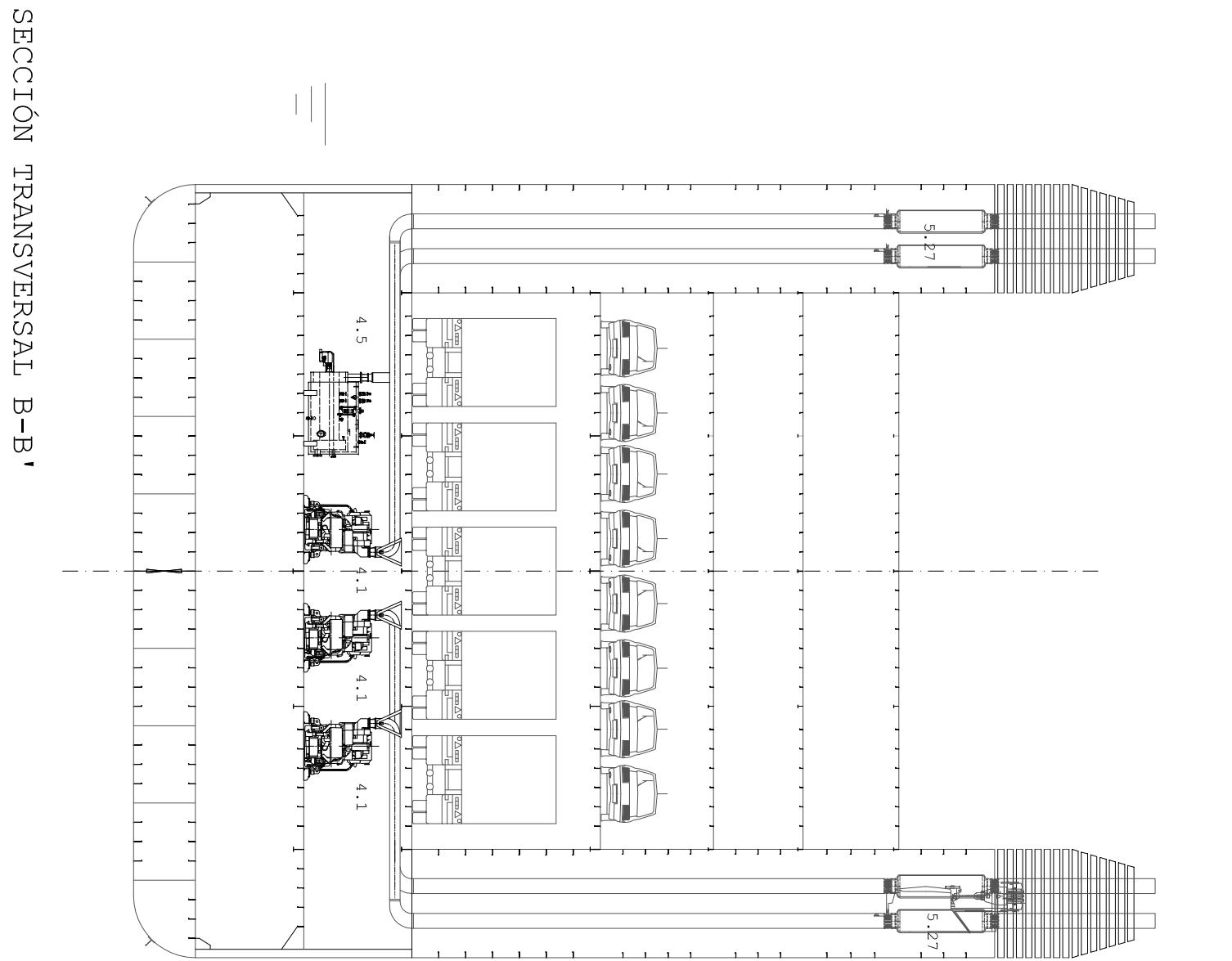
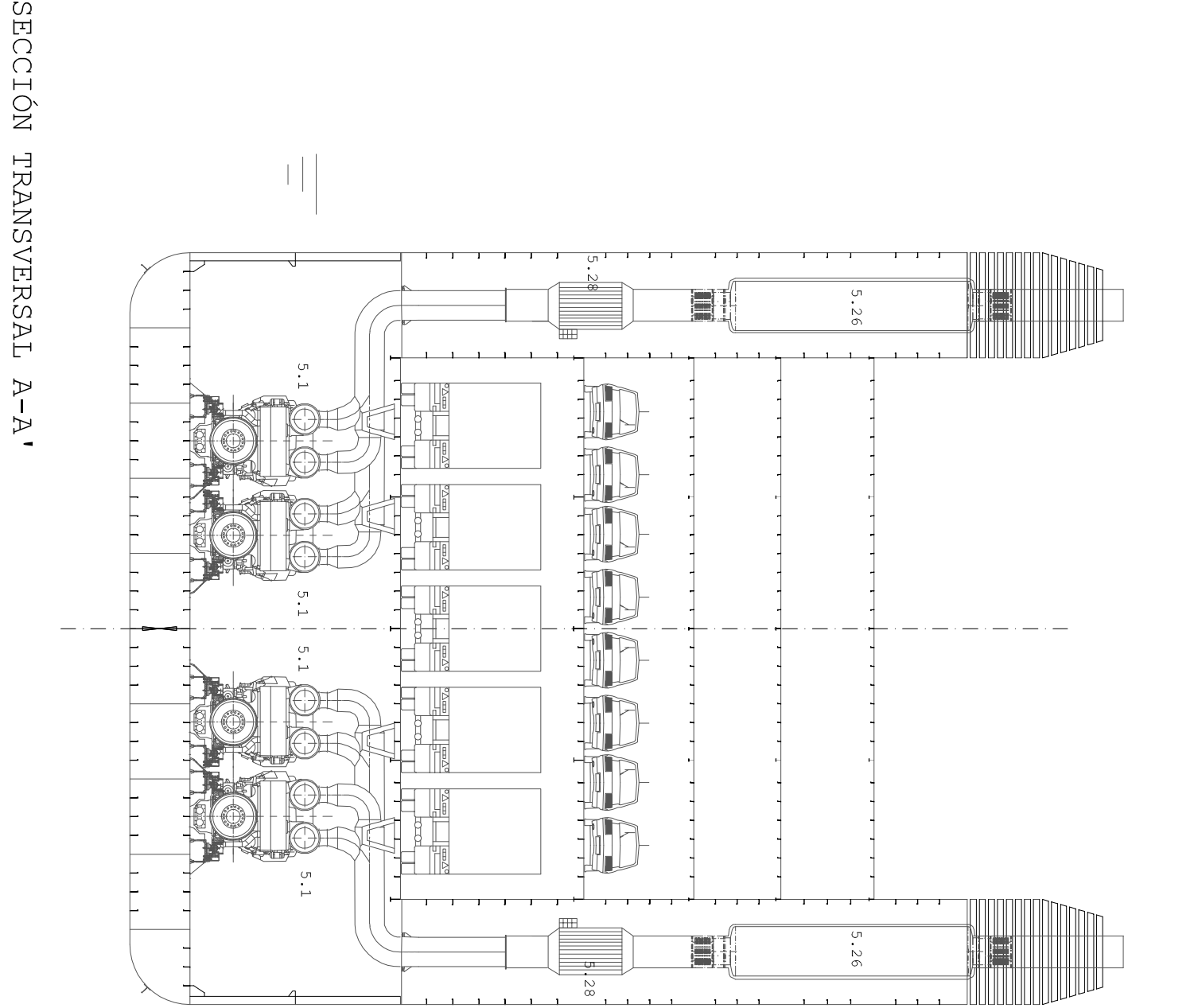
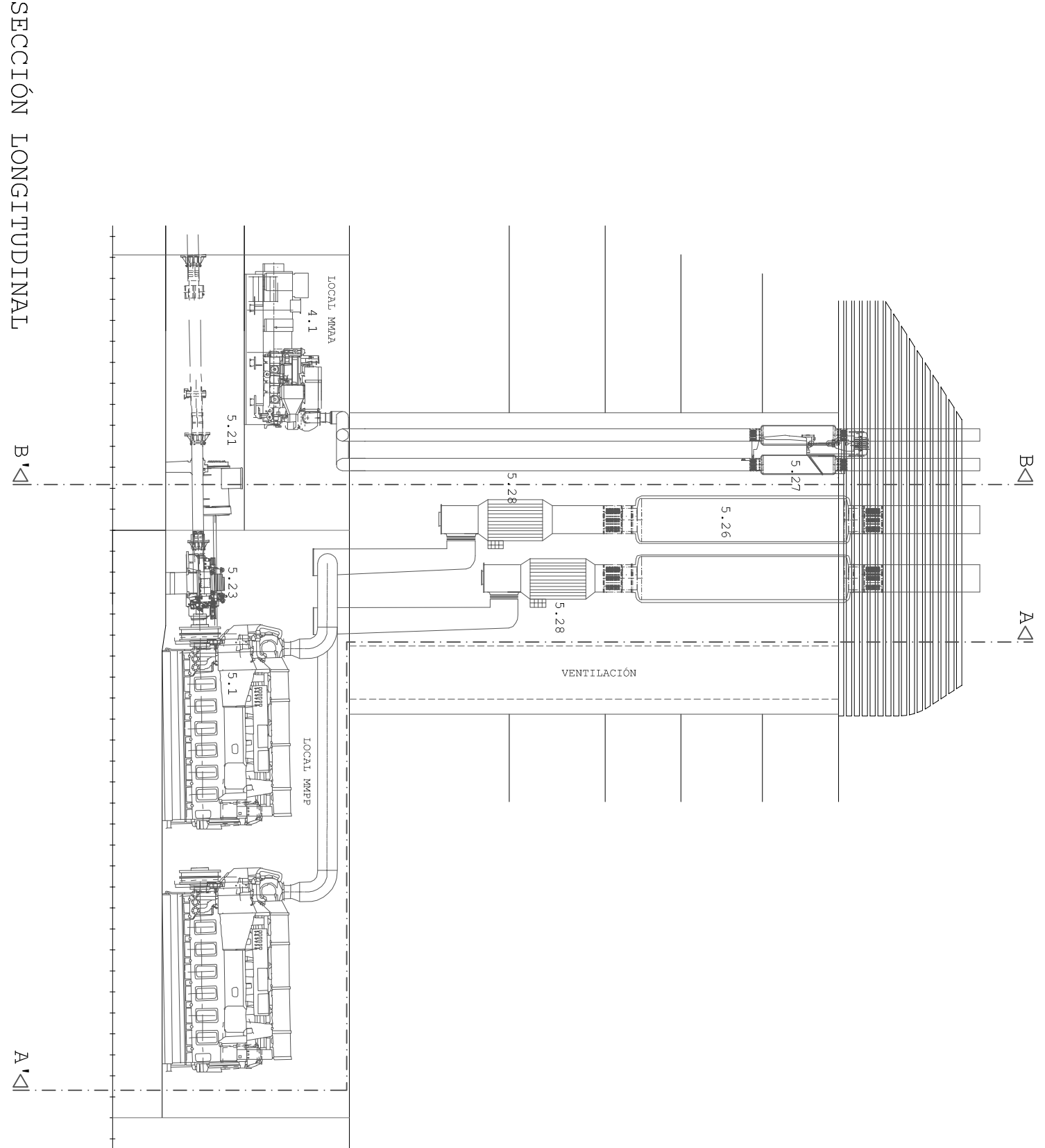
Tanque Sedimentación HFO (1,2)						
Cara	Espacio Adyacente	S(m ²)	K (kcal/m ² °C)	Tint (°C)	Text (°C)	Q _p (kcal/h)
Superior	Tanque SD HFO	32.912	4.8	65.0	90	-3949.44
Inferior	Tanque lastre	32.912	4.8	65.0	5	9478.66
Estribor	CCMM	15.4	7.0	65.0	20	4851.00
Babor	Tanque sed. HFO	15.4	4.8	65.0	65	0.00
Proa	Tanque alm. HFO	26.18	4.8	65.0	40	3141.60
Popa	CCMM	26.18	7.0	65.0	20	8246.70
Total perdidas tanque sedimentación HFO						21768.52

Tanque Aceite Sucio						
Cara	Espacio Adyacente	S(m ²)	K (kcal/m ² °C)	Tint (°C)	Text (°C)	Q _p (kcal/h)
Superior	CCMM	20.16	4.8	65.0	20	4354.56
Inferior	Espacio vacío	20.16	4.8	65.0	10	5322.24
Estribor	CCMM	5.824	4.8	65.0	20	1257.98
Babor	CCMM	5.824	4.8	65.0	20	1257.98
Proa	CCMM	3.744	4.8	65.0	20	808.70
Popa	Tanque aceite alm.	3.744	7.0	65.0	65	0.00
Total perdidas tanque aceite sucio						13001.47



Calor necesario para la elevación de la temperatura de los tanques						
Tanque	Masa(Tn.)	Ce	T _f	T _i	Δt	Q
Alm. HFO 1	154.2	0.46	40	5	48	51721.25
Alm. HFO 2	154.2	0.46	40	5	48	51721.25
Alm. HFO 3	154.2	0.46	40	5	48	51721.25
Alm. HFO 4	154.2	0.46	40	5	48	51721.25
Alm. HFO 5	90.6	0.46	40	5	48	30388.75
Alm. HFO 6	90.6	0.46	40	5	48	30388.75
Sed. HFO 1	108.8	0.46	65	40	12	104266.67
Sed. HFO 2	108.8	0.46	65	40	12	104266.67
Ac. Sucio	19.3	0.47	65	30	2	158742.50

Tanque	Perdidas (kcal/h)	Elevación de la temperatura (kcal/h)
Almacén HFO 1	16991	51721
Almacén HFO 2	16991	51721
Almacén HFO 3	22809	51721
Almacén HFO 4	22809	51721
Almacén HFO 5	14803	30389
Almacén HFO 6	14803	30389
Servicio diario HFO 1	33052	0
Servicio diario HFO 2	33052	0
Sedimentación HFO 1	21769	104267
Sedimentación HFO 2	21770	104267
Aceite sucio	13001	158743

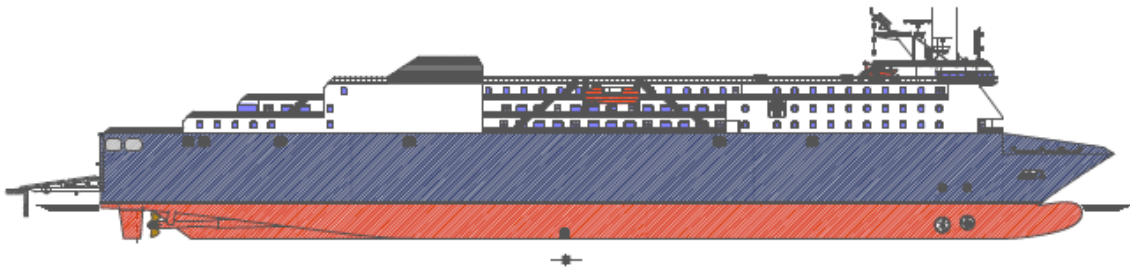




Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales

Proyecto Fin de Carrera nº034

ROPAX 4000 TPM



Cuaderno 8

Equipos y Servicios

Tutor:

José María Riola Rodríguez

Alumno:

Francisco Sastre Guasch



Índice

1.INTRODUCCIÓN	6
2. EQUIPOS DE CUBIERTA.....	7
2.1. Numeral de equipo.....	7
2.2. Anclas	7
2.3. Cadenas	8
2.4. Cables y amarras	8
2.5. Molinetes y chigres	8
2.5.1. Molinetes	8
2.5.2. Chigres.....	9
2.6. Bitas.....	9
2.7. Alavantes	10
2.8. Escobenes.....	10
2.9. Caja de cadenas.....	10
3. EQUIPOS DE GOBIERNO	11
3.1. Servomotores	11
3.2. Hélices transversales	11
3.3. Aletas estabilizadoras.....	12
4. EQUIPOS DE CARGA Y DESCARGA	13
4.1. Puertas-rampa de acceso de popa.....	13
4.2. Car-deck.....	14
4.3. Rampas de comunicación entre cubierta.....	14
4.4. Equipos de fijación de la carga	14
4.5. Equipo electro-hidráulico	15
5. SISTEMAS DE ACCESO Y ELEVACIÓN	16
5.1. Acceso a bordo del pasaje.....	16
5.2. Ascensores y montacargas	16
5.3. Escalas del práctico	17
6. EQUIPO DE ILUMINACIÓN	18
6.1. Luces de navegación	18



6.2. Alumbrado.....	18
6.2.1. Alumbrado interior.....	19
6.2.2. Alumbrado exterior	22
7. ARMAMENTO, INSTALACIONES Y HABILITACIÓN	23
7.1. Protección catódica	23
7.2. Pañoles	23
7.3. Pintura	23
7.3.1. Pintura exterior	23
7.3.2. Pintura interior	24
7.3.3. Pintura interior de tanques	24
7.4. Cocina y oficinas	24
7.5. Aseos	25
7.6. Lavandería	25
7.7. Gambuzas	25
7.8. Frigoríficos independientes.....	26
7.9. Recubrimientos de cubiertas y mamparos	26
7.9.1. Mamparos divisorios	26
7.9.2. Cubiertas	26
7.9.3. Mobiliario y materiales decorativos.....	27
7.10. Aislamientos	27
8. EQUIPO DE SALVAMENTO.....	28
8.1. Equipo de comunicaciones.....	28
8.2. Señales ópticas	28
8.3. Embarcaciones de supervivencia	28
8.3.1. Botes salvavidas	28
8.3.2. Botes de rescate	28
8.3.3. Balsas salvavidas	29
8.4. Dispositivos individuales de salvamento.....	29
8.4.1. Aros salvavidas	29
8.4.2. Chalecos salvavidas	29
8.4.3. Trajes de inmersión	29
9. DETECCIÓN Y EXTINCIÓN DE INCENDIOS	30



9.1. Consideraciones previas.....	30
9.2. Detección.....	30
9.3. Extinción	31
9.3.1. Tomas de mar.....	31
9.3.2. Colector principal y bombas CI.....	31
9.3.3. Bomba CI de emergencia	31
9.3.4. Bocas CI	31
9.3.5. Extinción en espacios de máquinas.....	32
9.3.6. Extinción en zonas de habilitación	32
9.3.7. Extinción en cubiertas de Carga	33
10. SERVICIOS DE LASTRE Y SENTINAS	34
10.1. Lastre y antiescora	35
10.2. Sentinas	35
10.2.1. Colector de sentinas y pocetes	35
10.2.2. Bombas de sentinas	36
10.2.3. Consideraciones sobre el achique.....	36
10.2.4 Separador de sentinas.....	36
11. SISTEMA DE TRATAMIENTO SÉPTICO.....	37
11.1. Descripción.....	37
11.2. Tanques de almacenamiento de aguas grises.....	37
11.3. Planta de tratamiento séptico.....	37
11.4. Bombas de circulación de aguas grises	37
11.5. Bombas de descarga de aguas grises	37
12. SERVICIO DE AGUA SANITARIA.....	38
12.1. Descripción	38
12.2. Tanques almacén de agua dulce	38
12.3. Tanque hidróforo de agua fría sanitaria	38
12.4. Bombas de circulación de agua fría sanitaria.....	38
12.5. Tanque hidróforo de agua caliente sanitaria	38
12.6. Bombas de circulación de agua caliente sanitaria	39
12.7. Tanque de agua potable a presión	39
12.8. Bombas de circulación de agua potable	39



12.9. Planta potabilizadora	39
13. AIREACIÓN, SONDA Y REBOSE.....	40
13.1. Aireación de tanques	40
13.2. Sonda.....	40
13.3. Reboses	40
14. EQUIPO DE NAVEGACIÓN Y COMUNICACIÓN.....	41
14.1. Equipo de navegación	41
14.2. Equipo de comunicación	41
14.2.1. Comunicaciones interiores.....	41
14.2.2. Comunicaciones exteriores	42



1. INTRODUCCIÓN

En este cuaderno se definirán todos los equipos y los servicios generales de nuestro buque proyecto. Como hemos podido observar algunos de los servicios generales del buque se han descrito anteriormente en el cuaderno de cámara de máquinas, como son los sistemas de calefacción y aire acondicionado. El resto de equipos y servicios que se describirán en dicho cuaderno son;

- Equipos de cubierta.
- Equipo de gobierno.
- Equipo de carga y descarga.
- Equipo de iluminación.
- Equipo de salvamento.
- Armamento, instalaciones y habilitación.
- Servicios generales, lastre y sentinas.
- Sistema de tratamiento séptico.
- Servicio de agua sanitaria.
- Equipo de detección y extinción de incendios.
- Equipo de navegación y comunicaciones.

Todos los equipos cumplirán con la normativa exigida por la sociedad de clasificación, Bureau Veritas, además de los Convenios MARPOL y SOLAS.



2. EQUIPOS DE CUBIERTA

2.1. Numeral de equipo

Las características de los equipos de amarre, fondeo y remolque dependen del **numeral de equipo**, definido mediante la expresión:

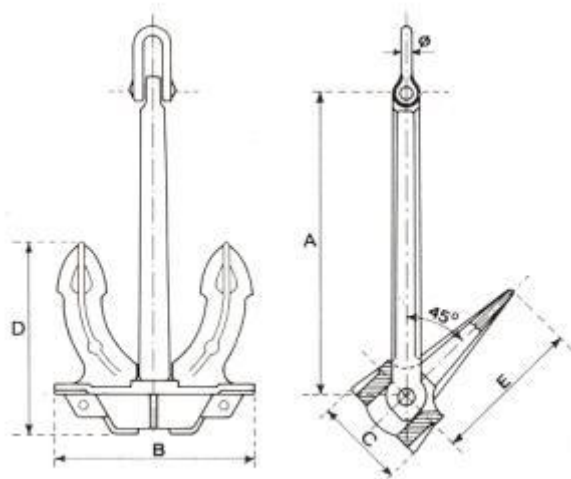
$$N = \Delta^{2/3} + 2BH + 0.1A = 2308$$

Donde:

- Δ : desplazamiento del buque, sin apéndices, en la flotación de verano. Tomamos $\Delta = 14282$ tons.
- B: manga máxima de trazado.
- H: Altura significativa entre la flotación de carga de verano y el techo de la caseta más elevada con manga superior a B/4. En nuestro caso, $H = 27,535$ m.
- A: superficie lateral (m²) del casco, de la superestructura y de las casetas con anchura superior a B/4, por encima de la flotación de verano y comprendida dentro de la eslora entre perpendiculares. En nuestro buque proyecto toma el valor 3425m².

2.2. Anclas

Dado que el numeral de equipo está entre 2230 y 2380, el buque debe disponer de **dos anclas de 6900kg** cada una, más una de respeto igual que las anteriores. Serán de tipo Hall, es decir, sin cepo. Cada cadena se unirá a la cadena mediante un grillete giratorio y eslabones de conexión. Sus dimensiones aproximadas para un peso específico de 6900 kg, son;



Peso Ancla Kg.	Dimensiones en mm.				
	A	B	C	D	Ø
6900	2930	2064	932	1904	1512



2.3. Cadenas

Se disponen cadenas de **calidad Q2**, por ser las que mejor relación eficacia/coste presentan.

Sus propiedades son las siguientes:

Diametro mm.	73
Longitud m.	605
Numero de largos de cadena (27,5 m. cada largo)	22

Los largos de las cadenas están unidos mediante grilletes de tipo Kenter, existiendo un grillete giratorio en las uniones con el ancla y la caja de cadenas.

2.4. Cables y amarras

Nuestra sociedad de clasificación no impone requisitos al cable de remolque ni al equipo de amarre del buque. Pero recomienda dichos valores;

Numeral de equipo		Lineas de remolque		Lineas de amarre		
A < NE < B		Long. Min. (m)	Carga max. (kN)	Número	Long. Min. (m)	Carga max. (kN)
2230	2380	240	1356	5	200	451

Según nuestra sociedad de clasificación, "Bureau Veritas", se deberá disponer de 3 amarras adicionales por tratarse de un buque ro-ro de pasaje.

2.5. Molinetes y chigres

2.5.1. Molinetes

Se instalarán dos molinetes monoancla que facilitan la posición de la caja de cadenas y de los escobenes. Los molinetes contarán con un barbotén para el manejo de la cadena. El barbotén tendrá capacidad de velocidad rápida para izar el ancla, y cuatro largos de cadena a una velocidad de 10 m/min. La velocidad lenta permitirá el izado del ancla y 11 largos de cadena. Los molinetes se ubicarán de manera que el barbotén esté alineado con la entrada de la caja de cadenas.

La potencia de los molinetes, calculada para izar el ancla y 4 largos de cadena viene dada por la siguiente expresión:

$$P = \frac{0.87 \cdot (P_c + P_a) \cdot v \cdot f}{60 \cdot 75 \cdot r}$$



- P es la potencia de cada molinete
- P_c es el peso de la cadena que se toma con 4 largos (11890 Kg)
- P_a es el peso de cada ancla (6900 Kg)
- v es la velocidad de izado en m/min. Se tomará igual a 12m/min
- f es el coeficiente de rozamiento en estopor y escoben. Será igual a 2
- r es el rendimiento mecánico del molinete, y se tomará igual a 0.6.

Sustituyendo valores se obtiene una potencia por molinete de P= 145 hp equivalente a 109 Kw. Con esta potencia la velocidad corta para izar el ancla se definirá por la siguiente expresión:

$$\frac{v}{v_1} = 1 + \frac{e \cdot P_a}{0.87 \cdot (P_c + P_a)}$$

- v₁ es la velocidad corta para izar el ancla
- e es el poder de agarre del ancla (2.5)

Se obtiene así una velocidad corta para izar el ancla de 4.87 m/min. La potencia requerida para izar el ancla y los 11 largos de cadena de la banda de babor a la velocidad corta será, utilizando la primera fórmula, de 125 hp o 93 Kw.

Lo que evidencia que la potencia calculada es suficiente para las funciones del molinete.

2.5.2. Chigres

Dispondremos de dos chigres de amarre en la zona de proa y otros dos en la zona de popa. Los primeros, como se comentó en el apartado anterior, estarán combinados con los molinetes del ancla.

Cada chigre tiene una capacidad de tiro de 150 kN y puede trabajar a una velocidad de 15 m/min. El accionamiento de estas máquinas es electrohidráulico, por lo que la potencia absorbida por cada una es:

$$P = \frac{Tiro \cdot v \cdot 9.8}{\eta} \times 10^{-3} \text{ (kW)}$$

La potencia de cada chigre de doble tambor será de 62.5 Kw.

2.6. Bitas

Con objeto de facilitar el amarre y el remolque, se dispone de cuatro bitas en la zona de amarre de proa y otras cuatro en la zona de popa. Además, tendremos otro par de bitas, una a cada banda.



2.7. Alavantes

La función de los alavantes es evitar que las amarras rocen con las cubiertas o tapas de regala cuando operen desde las maquinillas. Dispondremos de juegos de alavantes en las zonas de amarre de proa y popa para guiar las amarras en la dirección adecuada.

2.8. Escobenes

El escobén permite el paso de la cadena y alojar la caña del ancla. Existe uno a cada banda, alineados con los barbotenes de los molinetes de forma que no se produzcan interferencias con el casco cuando se deje caer el ancla.

Los escobenes están reforzados en su boca y en su concha para soportar el desgaste debido al rozamiento de la cadena en su caída e izado. Con el mismo fin se proyectan robustos y de forma redondeada en la zona de rozamiento.

El diámetro del tubo del escobén viene determinado por la siguiente expresión:

$$d_{ESCOBÉN} = (0,03867 \cdot (100 - d) + 7,5) \cdot d = 0,83 \text{ m}$$

Cada escobén cuenta con tubos de agua a chorro para la limpieza de la cadena y del ancla durante el izado.

2.9. Caja de cadenas

El buque dispone de dos cajas de cadenas situadas simétricamente respecto a crujía y a proa del mamparo del pique de proa. El volumen total necesario para albergar la cadena puede estimarse mediante la siguiente expresión:

$$V = 0,082 \cdot L \cdot d^2 \times 10^{-4} = 26,44 \text{ m}^3$$

Donde:

- d: diámetro del redondo del que se ha partido para la fabricación del eslabón, en mm.
- L: Longitud de la cadena, en m.

El volumen unitario por caja de cuaderna será igual a $13,22 \text{ m}^3$. Las cajas de cadenas tienen base cuadrada para facilitar la construcción. Consideramos el ancho de cada caja de cadenas igual a aproximadamente 30 veces el diámetro d antes considerado (2,19m). En nuestro caso tomamos $2,40 \times 2,19 \text{ m}$ para aprovechar el reforzado existente en el casco. Por tanto, la altura de cada caja de cadenas debe ser 2,52m.



A este valor debemos sumarle 0,5m por debajo, pues la caja dispone de un falso fondo de chapa perforada para facilitar el drenado, y 1,2m por encima, para facilitar la estiba de la cadena (que debe producirse sin ayuda externa) y las inspecciones de la caja.

3. EQUIPOS DE GOBIERNO

El equipo de gobierno se compone de propulsores, timones, servomotores, hélices transversales de maniobra y aletas estabilizadoras. Propulsores, timones y hélices transversales ya fueron estudiados en el Cuaderno 6.

3.1. Servomotores

Los servomotores son dos equipos rotativos electro-hidráulicos independientes, uno por timón, capaces de efectuar un giro del timón a banda, es decir, un giro de timón de 35º a una banda a 30º a la otra banda (65º), en un máximo de 28 segundos. Son controlados desde el puente de navegación y pueden conectarse al piloto automático. Además, pueden ser accionados manualmente en caso de emergencia, actuando sobre las electroválvulas del sistema hidráulico.

Cada servomotor se compone de lo siguiente:

- Un servomotor de tipo rotativo con válvulas automáticas de seguridad.
- Dos grupos de electrobombas hidráulicas de 30kW (potencia necesaria para mover cada servomotor, calculada en el Cuaderno 6), más uno de respeto para cada grupo.
- Panel en el puente de gobierno.
- Columna telemotor con distribuidor incorporado.
- Caja potenciométrica para indicar el ángulo de giro.
- Indicador de grados de tipo panorámico, con tres caras de lectura en el puente y repetidor en el local del servo.
- Dos arrancadores para arranque y parada, tanto en el local del servo como en el puente.

3.2. Hélices transversales

Las hélices transversales fueron dimensionadas en el apartado 6 del Cuaderno 6. El buque dispone de dos hélices transversales de 2m de diámetro, cada una de las cuales es movida por un motor eléctrico de 1155kW.

Serán hélices de paso variable, lo que permite variar la velocidad del flujo de agua transversal actuando sobre el paso y manteniendo constantes las revoluciones.

El conjunto de la hélice, formado por el túnel de servicio, la carcasa de reducción y la hélice de accionamiento, viene suministrado por el proveedor como una unidad completa.



3.3. Aletas estabilizadoras

El buque proyecto está provisto de dos aletas estabilizadoras escamoteables (se pueden esconder en el casco cuando es necesario, como en las operaciones de entrada y salida del puerto). Las aletas, accionadas hidráulicamente y con una superficie de 4 m², permiten reducir el balance del buque hasta en un 90% a la velocidad de pruebas.

Existen dos bombas (una de respeto) para cada aleta, que proporcionan el aceite necesario para accionar las aletas, y otras dos para engrasarlas (también una de ellas es de respeto). Las primeras están movidas por motores eléctricos de 15kW, y las de engrase, por motores eléctricos de 0,5kW.



4. EQUIPOS DE CARGA Y DESCARGA

En los cálculos de este apartado haremos uso de las siguientes expresiones:

$$P_s = \frac{E_{POT}}{\Delta t} = \frac{mgh}{\Delta t} \quad P_E = \frac{P_s}{\eta_M \eta_H}$$

Donde:

- P_E : potencia eléctrica
- η_H : rendimiento hidráulico. Suponemos un valor de 0.6.
- η_M : rendimiento mecánico. Lo suponemos igual a 0.9.

4.1. Puertas-rampa de acceso de popa

Los vehículos acceden a bordo directamente desde el muelle a través de dos puertas-rampa situadas a popa. Cada rampa consta de una sección principal, una segunda sección que se pliega sobre la primera, y rampillas adicionales en sus extremos para facilitar la transición entre el muelle y la cubierta del buque.

Las rampas se calcularán para proporcionar una pendiente máxima de 8º cuando se encuentren apoyadas sobre el muelle. Ello conllevará estudiar los muelles de atraque previstos.

El tiempo necesario para abrir o cerrar cada rampa, excluyendo trincado o destrincado, es de unos 4 minutos. La apertura y el cierre de cada rampa se lleva a cabo mediante dos cilindros hidráulicos instalados en los laterales, entre la rampa y la estructura del buque. Además, se ha montado un cilindro empujador para ayudar en el despegue y amortiguar el cierre. En posición de cerrada, la rampa queda trincada por medio de dispositivos hidráulicos que la fijan fuertemente contra el marco del buque, comportándose como una puerta estanca hacia el interior del buque.

Cada puerta-rampa tiene un peso de 25tons, y es capaz de soportar el peso de dos tráileres (de peso unitario de 38tons, de las cuales 6 tons pertenecen a la cabeza tractora). En el cálculo de la potencia necesaria se supone que el centro de gravedad de cada rampa se eleva, como máximo, hasta el 50% de su altura (5m.). La potencia conjunta de las dos rampas será igual a 25kW.

La apertura y el cierre se controlan desde dos paneles de mando instalados en las cubiertas de carga, a popa, y situados de modo que puedan controlarse de forma cómoda los movimientos.



4.2. Car-deck

La cubierta inferior de carga dispone de un car-deck a proa para ampliar la capacidad de transporte de coches. Tiene una capacidad de 100ml de coches y está dimensionado para soportar una carga unitaria de 0,350tons/ml.

El car-deck se acciona mediante chigres hidráulicos y es accesible mediante una rampa móvil situada a popa del car-deck y en el costado. El tiempo necesario para realizar el desplazamiento del car-deck es de 2 minutos aproximadamente.

Esta cubierta móvil tiene dos posiciones de trabajo: una, estibada en la parte superior, a 13900mm sobre línea base, y otra, a media altura, a 11450mm sobre línea base. El car-deck está formado por un módulo de 15 tons. Consumiendo una potencia de 5,6 kW.

Además, debemos considerar la rampa móvil que, situada en el costado, comunican el car-deck con la cubierta principal. Esta rampa, de accionamiento hidráulico, es capaz de elevar y soportar el peso de 2 coches, con una carga total de 3 tons. Suponemos un peso de rampa de 5 tons y una duración de la elevación desde la posición totalmente inclinada a la horizontal de unos 2 minutos. Consumiendo una potencia de 2,5 kW.

4.3. Rampas de comunicación entre cubierta

Disponemos de una rampa móvil que comunican las dos cubiertas de carga. La potencia necesaria para mover la rampa depende de; la diferencia de altura que debemos elevarla (en nuestro caso, la diferencia de puntal entre la cubierta superior y la cubierta principal), del peso de la rampa, de la carga que debe soportar, y de la duración de la maniobra. Consumiendo una potencia de 120kW.

4.4. Equipos de fijación de la carga

No existe una normativa específica que regule la estiba y amarre de los trailers, y generalmente será el armador quien aporte los elementos de estiba. Pese a ello, existen una serie de usos y costumbres relativos a la estiba de la carga rodada, y podemos considerar que el sistema de fijación de la carga se compone de los siguientes elementos:

- Cadenas de trinca.
- Anclajes soldados sobre cubierta, que se utilizan para fijar las cadenas de trinca. Se dispondrán a los lados de los carriles.
- Bozas con tensores de las cadenas.
- Calzos para las ruedas de las plataformas.
- Caballetes para apoyo de los trailers.



4.5. Equipo electro-hidráulico

El sistema está formado por una central hidráulica triple que permite mover los portones de popa y las rampas móviles de comunicación entre cubiertas. Las bombas se han dimensionado para permitir alcanzar los tiempos de maniobra especificados anteriormente mediante el funcionamiento de dos de las bombas, quedando la tercera de respeto.



5. SISTEMAS DE ACCESO Y ELEVACIÓN

5.1. Acceso a bordo del pasaje

El buque dispone de dos puertas de costado para el embarque de pasajeros en la primera cubierta de pasaje. Cada una está formada por una sola hoja que se abre hacia el interior, hasta los 90°. En posición cerrada queda a paño con el forro.

La apertura y el cierre de cada puerta, se lleva a cabo mediante un cilindro hidráulico de doble efecto que actúa horizontalmente entre la estructura del buque y la puerta.

5.2. Ascensores y montacargas

Existen **dos ascensores y dos montacargas**. Los ascensores permiten el transporte de personas entre todas las cubiertas de habilitación, y los montacargas facilitan el acceso de la tripulación a todas las cubiertas del buque, además de facilitar el transporte de víveres a las cocinas. Los ascensores tienen una capacidad de 4 personas (360kg).

Se determina la potencia eléctrica necesaria para moverlos mediante las siguientes expresiones:

$$P_S = m \cdot g \cdot v \qquad P_E = \frac{P_S}{\eta_M \eta_H}$$

Donde:

- m: masa del conjunto a elevar, es decir, carga más ascensor.
- Velocidad del elevador: Tomamos 1,5m/s tanto para los ascensores como para los montacargas.
- P_E : potencia eléctrica necesaria.
- η_M : rendimiento mecánico. Suponemos un valor de 0,7.
- η_E : rendimiento eléctrico. Lo suponemos igual a 0,8.

Para los dos ascensores, el valor de la potencia eléctrica será;

$$P_S = m \cdot g \cdot v = 860 \cdot 9,81 \cdot 1,5 = 12,66 \text{ kW} \qquad P_E = \frac{P_S}{\eta_M \eta_H} = \frac{12,66}{0,7 \cdot 0,8} = 22,6 \text{ kW}$$

Para el montacargas de proa, el valor de la potencia eléctrica será;

$$P_S = m \cdot g \cdot v = 800 \cdot 9,81 \cdot 1,5 = 11,77 \text{ kW} \qquad P_E = \frac{P_S}{\eta_M \eta_H} = \frac{4,4}{0,7 \cdot 0,8} = 21 \text{ kW}$$

Para el montacargas de popa, el valor de la potencia eléctrica será;

$$P_S = m \cdot g \cdot v = 1000 \cdot 9,81 \cdot 1,5 = 14,72 \text{ kW} \qquad P_E = \frac{P_S}{\eta_M \eta_H} = \frac{8,8}{0,7 \cdot 0,8} = 26,3 \text{ kW}$$



5.3. Escalas del práctico

Las características que debe cumplir el embarque de los prácticos se recogen en el capítulo 5, Regla 23 del SOLAS. Allí se indica que cuando la distancia desde la superficie del mar a la cubierta de embarque del práctico sea menor de 1,5 m ni más de 9 m, se utilizará la escala del práctico. Ésta estará colocada y fijada de modo que quede a resguardo de cualquier posible descarga del buque y que esté situada en la parte del buque en que los costados son paralelos y dentro de la mitad central del buque.

En nuestro caso existen dos puertas, una a cada costado y de apertura hacia el interior del casco, para el embarque del práctico. Estarán situadas a la altura de la primera cubierta de carga (a 3m. sobre la flotación), por lo que debe disponerse de la escala indicada anteriormente, y en la cuaderna número 130.



6. EQUIPO DE ILUMINACIÓN

6.1. Luces de navegación

El Convenio Internacional para la prevención de abordajes (parte C) define las luces de navegación necesarias. Estas son alimentadas mediante un cuadro propio que no suministra corriente a ningún otro consumidor. Con objeto de prevenir un posible fallo en la alimentación principal, también son alimentadas de forma automática mediante las fuentes de energía eléctrica de emergencia.

Tipo de luz	Color	Nº	Ángulo de visibilidad (º)	Alcance (nm)	Pu(kW)	Pt(kW)
Tope de proa	Blanco	1	225	6	0,085	0,085
Tope de popa	Blanco	1	225	6	0,085	0,085
Banda de estribor	Verde	1	112	3	0,085	0,085
Banda de babor	Rojo	1	112	3	0,085	0,085
Luz de alcance	Blanco	1	135	3	0,085	0,085
Buque remolcado	Amarillo	2	135	3	0,085	0,170
Luz todo horizonte	Blanco	1	360	3	0,085	0,085
Luz de fondeo a proa		1			0,085	0,085
Luz de fondeo a popa		1			0,085	0,085
Buque sin propulsión		1			0,085	0,085
Buque varado		1			0,085	0,085
Maniobra		1			0,085	0,085
Total						1,105

6.2. Alumbrado

El sistema de alumbrado del buque proyecto es trifásico, está alimentado a 220V y se compone de aparatos y accesorios adecuados al trabajo en medio marino. Dependiendo del espacio que se desee iluminar, se utilizan lámparas incandescentes o fluorescentes, las cuales son las preferidas en camarotes, cámara de máquinas y zonas de carga. El resto de las luminarias puede disponer de lámparas incandescentes.

El alumbrado exterior en las zonas de trabajo y maniobra, se realiza por medio de proyectores con lámparas de yodo-cuarzo y de vapor de mercurio.

Las zonas exteriores expuestas a la intemperie o aquellos espacios interiores de gran humedad, como pañoles, cámara de máquinas, lavandería, cocina, etc., están provistos de aparatos estancos. El resto de espacios interiores disponen de aparatos no estancos.

Todos los elementos instalados son de fabricación normalizada para que los cambios se realicen rápidamente y se minimice el número de piezas de respeto.



La cámara de máquinas, el local del servomotor, el puente, las cocinas, los camarotes y los comedores tienen dos circuitos independientes, permitiéndose que, en caso de fallo de alguno de ellos, el local correspondiente no se quede sin iluminación.

6.2.1. Alumbrado interior

En su cálculo tenemos en cuenta lo siguiente:

- Nivel de iluminación requerido en función del tipo de espacio a iluminar.
- Forma geométrica del espacio a iluminar y reflexión de las paredes.
- Tipo de iluminación (directa, semi-directa, semi-indirecta, indirecta).
- Un factor de corrección para tener en cuenta el envejecimiento de las lámparas.

Definimos el flujo luminoso F , medido en lúmenes (lm), necesario para el alumbrado de un espacio, mediante la siguiente expresión:

$$F = \frac{E \cdot S}{F_M \cdot F_U}$$

Donde:

- E : iluminancia requerida por el tipo de local (lx). En la siguiente tabla se recogen las iluminancias recomendadas para los diferentes tipos de locales:

Iluminancias recomendadas	mín	máx
Camarotes de pasajeros y oficiales	200	250
Camarotes de tripulación	250	300
Pasillos del pasaje	100	150
Pasillos de la tripulación	100	150
Locales de reunión	200	250
Locales sanitarios	200	250
Enfermería	500	1000
Puentes paseo	20	40
Puentes de botes	10	20
Espacios de máquinas	300	450
Puestos de maniobra	500	750
Salas de calderas	250	300
Talleres de montaje	1000	2000
Talleres de maquinaria	500	1000
Oficinas	400	750

- S : superficie del local a iluminar (m^2).



- F_M : factor de mantenimiento de la instalación. Este coeficiente depende del grado de suciedad ambiental y de la frecuencia de limpieza del local. Consideramos una limpieza frecuente, y tomamos $F_M = 0,8$.
- F_U : Factor de utilización del local. Su valor está tabulado, y es función del tipo de iluminación y del índice del local K, el cual viene determinado por la siguiente expresión:

$$K = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)}$$

Donde a y b son las dimensiones del local y h es la diferencia de altura entre el plano de la luminaria y el plano de trabajo.

Se considera un rendimiento de 75 lm/W para el alumbrado fluorescente y de 15 lm/W para el alumbrado incandescente. Suponiendo que el 90% del alumbrado es fluorescente, el rendimiento global es de 69 lm/W.

En la siguiente tabla se detalla la potencia requerida por cada grupo de locales:

ESPACIOS DE CARGA	A (m ²)	H(m)	k	F _u	F _m	E(lx)	F(lm)	P lum. (w)	Nº lum.	P (kW)
Garaje cubierta principal (introducción)	2754	6,0	2,7	0,495	0,80	150	1043182	40	378	15,1
Garaje cubierta superior (introducción)	2880	3,7	4,4	0,525	0,80	150	1028571	40	373	14,9
Locales varios en cubiertas de carga	324	3,0	0,9	0,305	0,80	350	464754	40	168	6,7
										36,8

ESPACIOS DE MAQUINAS	A (m ²)	H(m)	k	F _u	F _m	E(lx)	F(lm)	P lum. (w)	Nº lum.	P (kW)
Sala motores principales	550	3,0	3,9	0,520	0,80	350	462740	80	84	6,7
Sala motores auxiliares	304	3,0	2,9	0,500	0,80	350	266000	80	48	3,9
Local separadoras	140	3,0	1,7	0,450	0,80	350	136111	80	25	2,0
Local helices proa	80	3,0	1,3	0,420	0,80	350	83333	80	15	1,2
Local servomotor	300	2,7	3,0	0,500	0,80	350	262500	80	48	3,8
Generador de emergencia	33	2,9	0,8	0,270	0,80	350	53472	80	10	0,8
Local de baterías	33	2,9	0,8	0,270	0,80	350	53472	80	10	0,8
Taller mecánico	84	3,0	1,5	0,430	0,80	350	85465	80	15	1,2
Taller eléctrico	37	3,0	1,0	0,360	0,80	350	45026	80	8	0,7
Planta séptica	37	3,0	1,0	0,360	0,80	350	45026	80	8	0,7
										21,6



HABILITACIÓN DE PASAJE	A (m ²)	H(m)	k	Fu	Fm	E(lx)	F(lm)	P lum. (w)	Nº lum.	P (kW)
Camarotes	580	2,1	1,4	0,420	0,80	150	258929	40	94	3,8
Salones	2288	2,3	6,3	0,530	0,80	150	809434	40	293	11,7
Comedor	736	2,1	5,7	0,530	0,80	150	260377	40	94	3,8
Recepcion y Tiendas	560	2,1	5,2	0,530	0,80	150	198113	40	72	2,9
Pasillos	162	2,1	0,8	0,270	0,80	150	112153	40	41	1,6
										23,8

HABILITACIÓN DE TRIPULACIÓN	A (m ²)	H(m)	k	Fu	Fm	E(lx)	F(lm)	P lum. (w)	Nº lum.	P (kW)
Camarote Capitan, Jefe de Máquinas y Armador	116	2,1	2,1	0,470	0,80	150	46077	40	17	0,7
Camarote oficiales y tripulación	555	2,1	1,4	0,420	0,80	150	247768	40	90	3,6
Pasillos	229	2,1	0,8	0,250	0,80	150	171600	40	62	2,5
Salon oficiales	65	2,1	1,7	0,440	0,80	150	27699	40	10	0,4
Salon tripulación	110	2,1	2,1	0,460	0,80	150	44837	40	16	0,6
Sala de reuniones	20	2,1	1,0	0,360	0,80	150	10208	40	4	0,1
Oficios	22	2,1	1,1	0,370	0,80	150	11351	40	4	0,2
										8,1

OTROS ESPACIOS	A (m ²)	H(m)	k	Fu	Fm	E(lx)	F(lm)	P lum. (w)	Nº lum.	P (kW)
Cocina	405	2,1	4,6	0,525	0,80	275	265179	40	96	3,8
Gambuzas	300	2,1	2,6	0,490	0,80	125	95663	40	35	1,4
Oficinas	20	2,1	0,8	0,300	0,80	125	10313	40	4	0,1
Puente de navegación	330	2,1	3,7	0,515	0,80	125	100121	40	36	1,5
Escaleras / Ascensores	805	2,1	1,6	0,440	0,80	125	285866	40	104	4,1
Aseos	52	2,1	0,6	0,220	0,80	175	51545	40	19	0,7
Sala Control CCMM	52	2,1	1,5	0,420	0,80	350	54167	80	10	0,8
Aire acondicionado	366	2,1	2,6	0,495	0,80	350	323485	40	117	4,7
Lavanderia	14	2,1	0,9	0,320	0,80	175	9844	40	4	0,1
Armarios y pañoles	82	2,1	1,8	0,450	0,80	100	22639	40	8	0,3
Control CI	49	2,1	1,3	0,410	0,80	100	14939	40	5	0,2
Enfermeria	35	2,1	1,4	0,420	0,80	750	78125	40	28	1,1
										19,0



6.2.2. Alumbrado exterior

Se instalarán focos de sodio de alta presión y halógenos para la iluminación de espacios exteriores del buque, los portalones de popa y las maniobras de fondeo y amarre, los cuales estarán controlados desde el puente de navegación.

Además, el buque dispondrá de una lámpara blanca de centelleo para señales Morse de 200W, así como de lámparas portátiles con batería.

Stuación	Zona a iluminar	Nº de luces	Pu(kW)	Pt(kW)
Cubierta pasaje 1	Zona cubierta	24	0,1	2,4
Cubierta pasaje 2	Zona cubierta	22	0,1	2,2
Cubierta tripulación	Zona cubierta	20	0,1	2
Cubierta tripulación	Lámpara señal Morse	1	0,2	0,2
Sobre el puente	Maniobras de fondeo y Amarre	4	0,5	2
Costados	Accesos al buque y escala real	2	0,1	0,2
Costados	Maniobras de botes y balsas	20	0,1	2
Popa	Zona amare	6	0,1	0,6
Popa	Maniobras amarre	2	0,5	1
				12,6



7. ARMAMENTO, INSTALACIONES Y HABILITACIÓN

7.1. Protección catódica

Se dispone de un sistema de corrientes impresas con el fin de proteger la superficie sumergida del casco de la corrosión galvánica. Está compuesto de cuatro ánodos y dos electrodos de referencia, dimensionados para una densidad de corriente de 40 mA/m².

Además existen ánodos de sacrificio de zinc en diferentes puntos de la obra viva como los túneles de las hélices de proa o los ejes de las hélices.

7.2. Pañoles

Los pañoles son aquellos espacios destinados a almacenar consumibles y herramientas del buque. Existen pañoles de máquinas, de estachas y cables, del contramaestre, de luces, de pintura, del electricista, de carpintería, de ropa blanca, de ropa sucia, etc.

Los pañoles disponen de baldas para la estiba y están provistos de gualderas y contruidos con perfiles soldados a puntales y elementos estructurales. Sobre estos perfiles van colocados listones de madera.

También existen pañoles dedicados a vajilla, ropa de cama, etc., así como taquillas en las zonas de trabajo para las ropas de faena.

7.3. Pintura

Para la estructura y superestructura del buque se emplea material previamente tratado (chorreado y pintado por sistema automático) de acuerdo con las normas. Este tratamiento se aplica tanto en chapas como en perfiles. Las zonas descubiertas por soldaduras y cortes durante la elaboración y montaje reciben una mano de imprimación.

A continuación se detalla el tipo de pintura a utilizar y el número de manos a aplicar en las distintas zonas del buque.

7.3.1. Pintura exterior

Fondos y costados.

- 2 capas de brea-epoxi vinílica.
- 2 capas de anti- incrustante vinílico.

Cubiertas a la intemperie.

- 2 capas de pintura anticorrosión.
- 1 capa de pinturas para cubiertas.



Superestructuras exteriores y chimeneas.

- 2 capas de imprimación de clorocaucho puro.
- 1 capa de clorocaucho puro de acabado.

7.3.2. Pintura interior

Cámara de máquinas.

- 2 capas de imprimación anticorrosión.
- 1 capa intermedia.
- 1 capa de acabado.

Cubiertas y cuadernas estructurales.

- 2 capas de imprimación anticorrosión.
- 1 capa de acabado.

Cofferdams.

- 1 capa de pintura bituminosa.

7.3.3. Pintura interior de tanques

Tanques de lastre.

- 2 capas de brea epoxi.

Tanques de combustible.

- Sin tratamiento.

Tanques de agua dulce técnica.

- 2 capas de epoxi sin olor.

7.4. Cocina y oficios

La cocina dispondrá de muebles adecuados, forrados de chapa de acero inoxidable. Habrá alacenas, cajones y estanterías. Los muebles se montarán sobre soportes adecuados que los separen del suelo, de modo que se facilite la limpieza del local. En la cubierta de tripulación existirán oficios que permitirá albergar la vajilla, algunos electrodomésticos y un cubo de basura.



7.5. Aseos

Todos los alojamientos de la tripulación y pasaje disponen de aseo incorporado, como ya se comentó en el Cuaderno de distribución general. Además, en el puente y en las cubiertas de habilitación se dispondrá de aseos públicos equipados con lavabo, taza y espejo.

Duchas y lavabos dispondrán de agua dulce fría y caliente. Los grifos de los lavabos serán de presión. Todos los aparatos sanitarios serán de porcelana de tipo marino, adecuados para instalación en buques. Los accesorios de fontanería serán también de tipo marino, siendo de latón cromado los que estén a la vista.

Las tuberías de alimentación a todos los aparatos tendrán válvulas de incomunicación y serán preferiblemente de cobre. Los desagües estarán provistos de sifones y filtros de fácil acceso para su limpieza.

7.6. Lavandería

Dado que realizará trayectos de corta duración, nuestro buque proyecto no precisa de un sistema de lavandería capaz de satisfacer todas las necesidades del pasaje. La lavandería, situada en la última cubierta, será utilizada por la tripulación y también permitirá el lavado de la ropa blanca (sábanas, manteles, etc.).

El local dispondrá de un equipo completo de lavadoras secadoras, planchas y mesas de planchado. Asimismo, dispondrá de agua dulce fría y caliente, así como de ganchos y tendederos.

7.7. Gambuzas

Nuestro buque dispondrá de cinco gambuzas, una seca, destinada a provisiones secas, y situada en la primera cubierta de pasaje (junto a la cocina) y las otras repartidas en las diferentes cocinas y bar que incluyen locales acondicionados para albergar mercancía refrigerada situadas en las distintas cubiertas de habilitación. Todos los locales disponen de elementos necesarios para almacenaje de los víveres: estantes, alacenas, barras y ganchos para víveres, etc.

La gambuza de la primera cubierta de pasaje se encuentra en la parte posterior de la cocina principal. Dicha gambuza contendrá cámaras independientes, cada una de las cuales se mantendrá a una determinada temperatura con el fin de permitir la adecuada conservación de los productos que albergue:

Cámara	Temperatura
Cámara de pescado	-20°C
Cámara de carne	-20°C
Cámara de verduras	0°C



Las puertas de las cámaras serán de construcción ligera y su material de aislamiento será poliuretano, el cual estará recubierto de chapas de acero inoxidable. Sus características aislantes serán las requeridas al servicio de cada cámara. Los cierres serán de la mejor calidad marina y serán accionados por ambos lados.

En la cocina existirán termómetros que indiquen la temperatura de cada una de las cámaras frigoríficas, así como una alarma óptica y sonora que será posible accionar desde dentro de dichas cámaras.

La planta frigorífica que permitirá mantener la temperatura en la gambuza frigorífica está situada en el local de aire acondicionado de proa. El equipo de frío, que estará duplicado, utilizará refrigerante R134a, igual que el sistema de aire acondicionado.

Cada unidad de refrigeración estará compuesta de una bomba de circulación del refrigerante, un evaporador, un condensador y un compresor. El consumo eléctrico de cada unidad será de aproximadamente **25kW**.

Las unidades trabajarán 16 horas diarias como máximo, alternándose el funcionamiento entre una y otra, y serán capaces de mantener en las cámaras las temperaturas deseadas trabajando con temperaturas de agua de mar de 32°C y del ambiente de 40°C.

7.8. Frigoríficos independientes

Además de las cámaras frigoríficas, se instalarán frigoríficos independientes en la cocina, los oficios y cada uno de los camarotes. Se estima una potencia total instalada de **165kW**.

7.9. Recubrimientos de cubiertas y mamparos

7.9.1. Mamparos divisorios

Los mamparos y los techos de la habitación, excepto en los almacenes y las zonas de maquinaria, estarán recubiertos de material incombustible, de tipo sandwich y 50mm de espesor. Los pasillos tendrán una división de tipo B. En las cocinas se utilizará un recubrimiento a base de acero inoxidable.

7.9.2. Cubiertas

Las cubiertas contarán con un revestimiento incombustible de material ligero de 8mm de espesor. En cocinas y zonas húmedas, existirá un revestimiento basado en cemento.

En los camarotes de la tripulación, así como los pasillos en las zonas de tripulación, el puente, el local de telecomunicaciones y la enfermería existirá un acabado a base de baldosas decorativas de tipo vinílico.

Los espacios públicos, las cabinas de pasajeros y de oficiales, y los pasillos, estarán recubiertos por alfombras compuestas en un 80% de lana.



Los baños, gambuzas, cocinas, cámaras refrigeradas, almacenes, comedores y oficios, estarán recubiertos con baldosas de cerámica.

7.9.3. Mobiliario y materiales decorativos

El mobiliario estará fabricado en madera y acero, de acuerdo con las categorías 7 y 8 especificadas en el SOLAS. Las partes externas serán de buena calidad y decorativas. Todo el mobiliario será de calidad marina. Se colocarán cortinas en todas las ventanas y portillos de cabinas, comedores, salones, sala de derrota, emisora y enfermería.

Las superficies y las mesas estarán cubiertas con plástico laminado. Todo el mobiliario de madera estará barnizado. Asimismo, todo el mobiliario pesado estará sujeto, mientras que los elementos móviles estarán equipados con las sujeciones correspondientes.

7.10. Aislamientos

Todos los mamparos de cabinas o espacios públicos expuestos a la intemperie estarán aislados térmicamente con lana de vidrio o paneles de 50 mm de espesor.

Las paredes contiguas a espacios ruidosos, como los locales de motores principales y auxiliares, salones, etc., dispondrán de aislamiento acústico.



8. EQUIPO DE SALVAMENTO

El SOLAS, en su Ch. 3, Pt. B, define los dispositivos y medios de salvamento con los que debe contar el buque.

8.1. Equipo de comunicaciones

El buque dispone de tres aparatos radiotelefónicos bidireccionales portátiles de ondas métricas y de un respondedor de radar a cada banda. Los respondedores están próximos a las embarcaciones de supervivencia.

Además, se dispone de un sistema de emergencia constituido por un equipo fijo y otro portátil que permiten comunicaciones bidireccionales entre puestos de control de emergencia, puestos de reunión y de embarco, y puntos estratégicos a bordo.

El sistema de alarma de emergencia está complementado por un sistema de megafonía, de dos bucles suficientemente separados en toda su longitud, con dos amplificadores distintos e independientes, conectado a la fuente de energía eléctrica de emergencia.

8.2. Señales ópticas

Se dispone de 12 cohetes lanza bengalas con paracaídas, los cuales van estibados en el puente de navegación.

8.3. Embarcaciones de supervivencia

8.3.1. Botes salvavidas

La normativa relativa a los dispositivos de salvamento está recogida en el Capítulo III del SOLAS.

Allí se establece (Regla 21, Apartado 1.2) que un buque de pasaje destinado a trayectos internacionales cortos debe estar equipado con botes salvavidas parcial o totalmente cerrados cuya capacidad conjunta permita transportar al menos al 30% del número total de personas que vaya a bordo. En nuestro caso contamos con dos botes parcialmente cerrados, uno a cada banda, y con una capacidad unitaria para 130 personas, satisfaciendo la capacidad requerida.

8.3.2. Botes de rescate

Existe uno a cada banda, en cumplimiento de la normativa vigente. Ambos botes cuentan con pescante integrado y tienen capacidad unitaria 6 personas más una camilla. Uno de ellos, tal y como establece la regla 26.3.1, será de rescate rápido y será capaz de alcanzar 20 nudos.



8.3.3. Balsas salvavidas

El buque debe contar con balsas salvavidas inflables capaces de dar cabida al pasaje que no tenga acceso a un bote salvavidas (580 personas) más el 25% del nº total de personas (210 personas). Se alcanza esa capacidad con cuatro balsas salvavidas con capacidad para 150 personas, y dos más con capacidad para 100 personas.

Dos de las de 150 van incorporadas a los tubos de evacuación MES que hay dispuestos a los costados. El resto, situadas junto a los costados y en la segunda cubierta de tripulación.

8.4. Dispositivos individuales de salvamento

8.4.1. Aros salvavidas

En aplicación de la Regla 22 de la parte B, Sec. 1, debido a la eslora de nuestro proyecto se debe contar con 18 aros salvavidas. 9 de ellos tienen luces de encendido automático y, de éstos, dos llevan señales fumígenas de funcionamiento automático. A cada banda del buque existe al menos un aro con rabiza flotante.

8.4.2. Chalecos salvavidas

En el apartado 2 de la Regla 7 se indica el número de chalecos salvavidas de los que debe disponer el buque:

- Uno por cada persona a bordo: 840 chalecos.
- Suficientes chalecos salvavidas de bebé para todos los bebés que haya a bordo, por ser un buque de pasaje que realizará viajes de 24 h o más. Suponemos 15 bebés a bordo, luego son necesarios 15 chalecos de bebé.
- Un número de chalecos salvavidas apropiados para niños igual por lo menos al 10% del total de pasajeros que vayan a bordo. 80 chalecos.
- Un número suficiente de chalecos salvavidas para las personas encargadas de la guardia y para utilizarlos en los puestos de embarcaciones de supervivencia alejados. Supongo 20 chalecos adicionales.
- Un número de chalecos igual al 5% del número total de personas a bordo, es decir, 40 chalecos más.

8.4.3. Trajes de inmersión

Aunque no es necesario llevar ningún traje de inmersión dado que los botes salvavidas son parcialmente cerrados, se dispone de 6 trajes de inmersión (3 por bote salvavidas).



9. DETECCIÓN Y EXTINCIÓN DE INCENDIOS

9.1. Consideraciones previas

Los objetivos de la seguridad contra incendios a bordo, tal y como se describe en el Apartado 1 de la Regla 2 del Capítulo II-2 del SOLAS, son:

- Evitar que se produzcan incendios y explosiones.
- Reducir los peligros para la vida humana que puede presentar un incendio.
- Reducir el riesgo de que el incendio ocasione daños al buque, a su carga o al medio ambiente.
- Contener, controlar y eliminar el incendio y las explosiones en el compartimiento de origen.
- Facilitar a los pasajeros y a la tripulación medios de evacuación adecuados y fácilmente accesibles.

Con el fin de alcanzar esos objetivos, debe llevarse a cabo lo siguiente, expuesto en el Apartado 2 de la misma regla:

- División del buque en zonas verticales principales y zonas horizontales mediante contornos que ofrecen protección térmica y estructural.
- Separación de los espacios de alojamiento del resto del buque mediante contornos que ofrecen protección térmica y estructural.
- Utilización restringida de materiales combustibles.
- Detección de cualquier incendio en la zona de origen. Se dispondrán sistemas fijos de detección de incendios y de alarma contra incendios, tanto en la cámara de máquinas como en el resto de los espacios del buque.
- Contención y extinción de cualquier incendio en la zona de origen.
- Protección de las vías de evacuación y de acceso para la lucha contra incendios.
- Disponibilidad inmediata de los medios de extinción de incendios.
- Reducción al mínimo de la posibilidad de ignición de los vapores de las cargas inflamables.

9.2. Detección

De acuerdo con el SOLAS, Capítulo II-2, Parte C, Regla 5, en los espacios de servicio, puestos de control y espacios de alojamiento, incluidos los pasillos, las escaleras y las vías de evacuación, situados dentro de los espacios de alojamiento, se instala un sistema fijo de detección de incendios y de alarma contra incendios que permita detectar la presencia de humo.

No es necesario instalar detectores de humo en los baños privados, ni en las cocinas. Los espacios con riesgo de incendio escaso o nulo, tales como espacios perdidos, servicios públicos, almacenes de CO₂ y otros, no necesitan disponer de un sistema fijo de detección de incendios y de alarma contra incendios.

También se instala un sistema fijo de detección de incendios y de alarma contra incendios en los garajes, en los espacios de máquinas sin dotación permanente y en los locales de motores



principales y auxiliares. Estos sistemas disponen de sensores que detectan pérdidas de energía o anomalías, y tienen al menos dos fuentes de energía.

9.3. Extinción

9.3.1. Tomas de mar

Las tomas de mar son aberturas existentes en la obra viva del casco que permiten la entrada de agua de mar al colector principal de agua salada. El barco dispone de dos tomas de mar, situadas en el pantoque, y a la altura de la cuaderna 97.

9.3.2. Colector principal y bombas CI

Al colector principal, que coincide con el colector de lastre, están conectadas las bombas que dan servicio contraincendios a los diferentes compartimentos del buque.

La capacidad total de las bombas CI es de al menos 2/3 del caudal que deben evacuar las bombas de sentina, es decir, 215m³/h. Además, cada una de las bombas contraincendios debe tener una capacidad no inferior al 80% de la capacidad total exigida dividida entre el número de bombas CI prescritas (3, tal y como es requerido para buques de más de 4000GT) y nunca inferior a 25 m³/h. Nuestras bombas CI serán **tres bombas de 75 m³/h** y 7.5 bar de presión nominal. Dispondrán de una potencia unitaria de 26 kW.

9.3.3. Bomba CI de emergencia

El buque dispone de una bomba CI de emergencia cuya fuente de energía y conexión al mar está situada fuera del espacio en el que se encuentran las bombas CI principales o sus fuentes de energía. Ello permite que, en el caso de que tenga lugar un incendio que inutilice las bombas CI, esta bomba de accionamiento independiente podría suministrar los dos chorros de agua que se consideran suficientes.

La capacidad mínima de la bomba de emergencia es del 40% de la capacidad mínima total de las bombas contraincendios normales, o bien de 25 m³/h si esta cantidad es superior. Consideramos una capacidad de **90 m³/h**, y una presión de descarga de 7,5bar. La bomba está accionada por un motor eléctrico alimentado por el generador de emergencia. Dicho motor poseerá una potencia unitaria de 31 kW.

9.3.4. Bocas CI

El número y distribución de las bocas contraincendios debe ser tal que por lo menos dos chorros de agua procedentes de la misma boca, uno de ellos lanzado desde una manguera de una sola pieza, puedan alcanzar cualquier parte del buque normalmente accesible a la tripulación mientras el buque navega y cualquier espacio de carga cuando éste se encuentre vacío, así como cualquier espacio de carga del buque de trasbordo rodado o cualquier espacio de categoría especial.

Para determinar la capacidad y el número de bombas contraincendios necesarias, según se recoge en el SOLAS, el caudal total suministrado por las bombas contraincendios no debe ser



inferior a dos tercios del caudal que deban evacuar las bombas de sentina cuando se las utilice en las operaciones de achique.

9.3.5. Extinción en espacios de máquinas

Los locales de tipo A situados bajo la cubierta principal, es decir, el local de los motores principales, el local de los motores auxiliares y el local de separadoras, deben disponer de lo siguiente, en aplicación de la Regla 5 del Ch. II-2 del SOLAS:

- Un **sistema fijo de extinción contraincendios**. Nosotros consideramos un sistema fijo de gas, basado en CO₂. Este sistema va a ser capaz de liberar un volumen igual al 35% de los espacios considerados más el guardacalor. El gas se almacena en 10 botellas de 245kg cada una, con una presión de prueba de 250 kg/cm².
- Un **sistema fijo de lucha contra incendios** de aplicación local a base de agua o equivalente de tipo aprobado.
- Al menos dos **nebulizadores** de agua adecuados.
- Un **equipo extintor portátil** lanzaespuma de tipo reductor, situado en la entrada de cada uno de los espacios considerados, con una capacidad de 20L de líquido espumógeno. Su lanza tiene un caudal de, al menos, 1,5m³/min.
- Dos **extintores portátiles de espuma** de 135L de capacidad en local de motores auxiliares y otros dos en el de tratamiento de combustible, cuatro extintores de 45L de capacidad en el local de los motores principales y dos más similares en el local de máquinas auxiliares de proa. Todos deben contar con mangueras montadas en carretes con las que se pueda alcanzar cualquier parte del local.
- Sensores térmicos y de humo para la **detección de incendios**. Los otros espacios de máquinas, es decir, el local de máquinas auxiliares de popa, el local de máquinas auxiliares de proa, el local de tratamiento séptico y el local de hélices de maniobra, deben contar en número suficiente con extintores portátiles equipados con mangueras.

9.3.6. Extinción en zonas de habilitación

Se dispone de un sistema **automático de rociadores, detección y alarma contraincendios** instalado y dispuesto de manera que proteja los espacios de habilitación, las cocinas y otros espacios de servicio, salvo los que no presenten un verdadero riesgo de incendio, tales como espacios perdidos, locales sanitarios, etc. Este sistema también protegerá todos los pasillos, escaleras y vías de evacuación en el interior de los espacios de habilitación.

El sistema de detección pone en funcionamiento la bomba y las señales de alarma acústica y visual. Al menos existen dos fuentes de suministro de energía para la bomba de agua de mar y el sistema fijo de detección de incendios y de alarma, una de las cuales será de emergencia.

Los rociadores existentes en los espacios de alojamiento y de servicio empezarán a funcionar cuando se alcance una temperatura comprendida entre 68°C y 79°C, aunque en aquellos lugares donde pueda esperarse una alta temperatura ambiente, la temperatura a la cual empezarán a funcionar se puede aumentar hasta 30°C por encima de la máxima prevista.

Los rociadores van colocados en la parte superior de los locales y espaciados convenientemente para mantener un régimen medio de aplicación de 5L/(m²min), como mínimo, sobre el área nominal de la zona protegida.



Los **rociadores** estarán **agrupados en secciones separadas**, con un máximo de **200** rociadores por sección tal que ninguna servirá a más de dos cubiertas ni estará situada en más de una zona vertical principal. Cada sección de rociadores podrá quedar aislada mediante una sola válvula de cierre. Se dispondrá de una válvula de prueba para comprobar la alarma automática de cada sección de rociadores descargando una cantidad de agua equivalente a la de un rociador en funcionamiento. El sistema de rociadores estará conectado al colector contraincendios del buque por medio de una válvula de retención que impida el retorno del agua desde el sistema hacia el colector.

Se instalará un conjunto de **bombas** independientes, destinadas exclusivamente a mantener la descarga continua de agua de los rociadores. Las bombas comenzarán a funcionar automáticamente al producirse un descenso en la presión del sistema, antes de que la carga permanente de agua dulce del tanque a presión se haya agotado del todo. Las bombas y el sistema de tuberías tendrán la capacidad adecuada para mantener la presión necesaria al nivel del rociador más alto, asegurando un suministro continuo de agua tal que permita cubrir un área de 280m² al régimen de aplicación mencionado. Por ello se equipará el buque con **tres bombas** centrífugas iguales de **45m³/h** de capacidad (una de ellas de respeto) y una presión nominal de **10bar**. Dispondrán de una potencia unitaria de 23 kW.

Se dispondrá de un **tanque presurizado** de agua dulce que tendrá como mínimo un volumen igual al doble de la cantidad de agua que cada bomba descargaría en un minuto, es decir, **1,50m³**. La presión en el tanque será tal que permitirá asegurar que, cuando se haya utilizado el agua dulce almacenada en él, la presión en el sistema no será inferior a la presión de trabajo del rociador más la presión ejercida por una columna de agua medida desde el fondo del tanque hasta el rociador más alto del sistema.

El tanque estará lleno de agua en un 70% para que la parte restante se utilice como espacio para presurizar, por lo que su volumen real será **2,10 m³**. Con objeto de mantener la presión, el tanque estará conectado con el suministro de aire.

9.3.7. Extinción en cubiertas de Carga

Los garages dispondrán de un sistema de extinción de incendios de **rociadores** de **accionamiento manual** con una capacidad de 5L/(min·m²). Las bombas y el sistema de tuberías tendrán la capacidad adecuada para mantener la presión necesaria al nivel del rociador más alto, asegurando un suministro continuo de agua tal que permita cubrir un área mínima de 280 m² al régimen de aplicación mencionado. Se equipará el buque con **tres bombas** centrífugas iguales de **45m³/h** de capacidad (una de ellas de respeto) y una presión nominal de **10bar**. De acuerdo con lo establecido por el SOLAS, en el puente de mando habrá indicadores que permitirán saber qué sección de los rociadores se encuentra en funcionamiento. Dispondrán de una potencia unitaria de 23 kW.

Al igual que en el sistema de rociadores en habilitación, se dispondrá de un **tanque presurizado** de agua dulce que tendrá como mínimo un volumen igual al doble de la cantidad de agua que cada bomba descargaría en un minuto, es decir, **1,50m³**. En el tanque se mantendrá una presión tal que, cuando se haya agotado el agua dulce almacenada en él, la presión en el sistema no será inferior a la presión de trabajo del rociador más la presión



ejercida por una columna de agua medida desde el fondo del tanque hasta el rociador más alto del sistema.

Con objeto de permitir la presurización, el tanque estará lleno de agua en un 70% y su volumen final será de 2,10 m³. Se dispondrá, además, de un sistema de extinción por agua convencional, de un extintor portátil en cada uno de los accesos a las cubiertas de tráileres y de tres nebulizadores de agua y un dispositivo lanzaespuma en cada cubierta.



10. SERVICIOS DE LASTRE Y SENTINAS

10.1. Lastre y antiescora

El servicio de lastre, aunque en principio podría compartir bombas con el servicio de sentinas, dispondrá de bombas **independientes**, garantizándose una mayor versatilidad en el lastrado en las diferentes condiciones de carga.

Las necesidades de lastre están cubiertas por **cuatro** bombas centrífugas movidas por motores eléctricos y autocebadas, de 320m³/h y 4 bar cada una, capaces de llenar todos los tanques de lastre en un tiempo inferior a 120 minutos. Dispondrán de una potencia unitaria de 53,5 kW.

El circuito de lastre debe ser tal que permita llenar un tanque a la vez que se vacía otro. Con este fin, existen dos colectores para permitir el relleno, vaciado y trasiego. Las tuberías se proyectarán para permitir velocidades del fluido del orden de 2m/s .

El buque dispone de **tanques antiescora** para permitir corregir escoras excesivas, algo de utilidad especialmente durante las operaciones de carga o descarga, en las cuales puede tener lugar un desplazamiento transversal notable del centro de gravedad. Van a estar situados junto a los costados, entre la cubierta de doble fondo y la cubierta principal, y entre las cuadernas 96 y 108.

El trasiego entre ambos tanques se lleva a cabo mediante **una bomba reversible**, accionada por un motor eléctrico, situada en el local de motores principales. Las tuberías de comunicación entre los tanques se disponen sobre el doble fondo. La bomba va a tener una capacidad de 100m³/h y una presión de diseño de 10bar. También la consideramos como bomba de respeto del circuito de lastre. Dispondrá de una potencia unitaria de 45 kW.

10.2. Sentinas

El buque debe disponer de un sistema de drenaje que le permita achicar el agua sea cual sea la condición de escora y trimado en que se encuentre. El servicio de sentinas permite evacuar el líquido que se acumula en los espacios del buque debido a condensaciones, pérdidas, baldeo, uso del sistema contraincendios, etc.

10.2.1. Colector de sentinas y pocetes

El reglamento de Bureau Veritas, en su Pt. C, Ch. 1, Sec. 10, proporciona expresiones para determinar los diámetros mínimos del colector de sentinas y de las tuberías que succionan de los pocetes dispuestos.

El diámetro mínimo del colector de sentinas viene definido por la siguiente expresión:

$$d = 25 + 1,68 \cdot \sqrt{L \cdot (B + D)} = 183mm$$



Donde L , B y D son la eslora, la manga y el puntal de nuestro buque. En cada compartimento estanco a achicar existen cuatro pocetes separados todo lo posible. El diámetro mínimo de las tuberías que aspiran de los pocetes se calcula mediante la siguiente expresión:

$$d_1 = 25 + 2,16 \cdot \sqrt{L_1 \cdot (B + D)}$$

Donde L_1 es la eslora del compartimento y B y D son la manga y el puntal del buque, respectivamente.

10.2.2. Bombas de sentinas

Nuestro buque deberá disponer según reglamento, 3 bombas de sentinas más una adicional. Cada una de las cuatro bombas, debe ser capaz de mantener en el colector de sentinas un flujo constante a una velocidad mayor de 2m/min. Ello obliga a que el caudal sea mayor o igual que:

$$Q = 0,00565 \cdot d^2 = 189 \text{ m}^3/\text{h}$$

Por ello dispondremos de un caudal de 200 m³/h para cumplir con la normativa. Las bombas estarán situadas en diferentes compartimentos estancos. Dispondrán de una potencia unitaria de 35 kW.

10.2.3. Consideraciones sobre el achique

En los espacios de máquinas el achique puede llevarse a cabo de tres formas:

- Achique de los pozos de sentina a través del colector principal.
- Achique de los pozos de sentina a través de un circuito directo a las bombas de achique, sin pasar por el colector principal de sentinas.
- Achique a través de una toma conectada a la bomba de refrigeración de agua salada.

El achique de las cajas de cadenas se realiza con un sistema independiente, formado por dos electrobombas de 2,5 kW, una de ellas de respeto, y con descarga al costado.

10.2.4 Separador de sentinas

El separador de sentinas tiene la misión de separar el aceite y/o combustible del agua achicada antes de expulsarla al mar para evitar su contaminación. Consiste en una combinación de separador, filtro, u otros medios, más una unidad proyectada para producir un efluente con un contenido de hidrocarburos adecuado. Se instalará una alarma que tendrá la función de interrumpir automáticamente la descarga si se excede la cantidad de aceite permitida y los residuos procedentes del separador irán a parar al tanque de lodos. Se dispone de dos bombas asociadas al separador, una de ellas de respeto, accionadas por motores eléctricos de 2,5 kW y que permiten descargar el agua al mar.



11. SISTEMA DE TRATAMIENTO SÉPTICO

11.1. Descripción

Las aguas grises pueden ser descargadas al mar, no así las negras, que deben ser tratadas con objeto de prevenir la contaminación del puerto, las aguas litorales o las aguas interiores. Para el tratamiento de las aguas negras se dispondrá de dos plantas, una de las cuales será de respeto. Por su parte, las aguas grises serán almacenadas en unos tanques y descargadas posteriormente al mar. Los inodoros descargarán en vacío y las duchas y lavabos por gravedad.

11.2. Tanques de almacenamiento de aguas grises

Contaremos con dos tanques para el almacenamiento de las aguas grises, los cuales estarán dispuestos simétricamente. Cada uno contará con una capacidad unitaria de 2 m³. Desde ellos descargaremos directamente al mar mediante unas bombas de descarga que trataremos más adelante.

11.3. Planta de tratamiento séptico

Estas plantas usan el principio aeróbico de digestión de aguas con un tratamiento del efluente final. La planta consiste en un tanque dividido en tres compartimentos herméticos para diferentes operaciones: aireación, sedimentación y clorinación. En el compartimento de aireación las bacterias reducen el material a dióxido de carbono, agua y nuevas bacterias. El dióxido de carbono se emite a través del sistema de respiración y el agua y el resto de bacterias pasan al compartimento de sedimentación. En este compartimento, la bacteria se sedimenta y se devuelve al compartimento de aireación. Finalmente, se pone la mezcla restante en contacto con cloro en el clorador (el cloro se encarga de matar cualquier bacteria perjudicial) y posteriormente se almacena en el tercer compartimento hasta que puede ser descargada al mar, tal y como se establece en el Anexo IV del MARPOL.

Para el dimensionamiento de la planta supondremos una producción de aguas negras de 4L por persona y día para el pasaje y 10L por persona y día para la tripulación. Con una capacidad total de tratamiento de 3,6 m³/día.

11.4. Bombas de circulación de aguas grises

Se dispondrá de dos bombas (una de ellas de respeto) para transferir las aguas grises obtenidas con la planta de tratamiento a los tanques de almacenamiento de aguas grises.

11.5. Bombas de descarga de aguas grises

Se dispondrá de dos bombas (una de ellas de respeto) para la descarga al mar de las aguas grises. Cada bomba deberá ser capaz de descargar el 50% de la capacidad de almacenamiento de aguas grises en 10 minutos. Suponiendo rendimientos similares a los utilizados previamente y una presión de descarga de las bombas de 5 bar. Al ser la capacidad total de almacenamiento de 4 m³, las bombas deberán disponer de un caudal de operación de 12m³/h. Dispondrán de una potencia unitaria de 3,8 kW.



12. SERVICIO DE AGUA SANITARIA

12.1. Descripción

Este sistema constará de los siguientes elementos:

- Tanques almacén de agua dulce.
- Tanques hidróforos.
- Bombas de agua dulce sanitaria.
- Calentador de vapor del agua dulce sanitaria.
- Equipo de regulación automática de temperatura.
- Equipo potabilizador de agua dulce.

12.2. Tanques almacén de agua dulce

Estimamos las necesidades de agua dulce suponiendo un consumo de 160L por persona y día. Dimensionar los tanques para almacenar la cantidad consumida durante un viaje la autonomía total del buque exigiría una capacidad demasiado elevada. Por ello se decide dimensionar los tanques para abastecer el consumo durante 1,5 días debido a ser un ferry de travesías cortas y utilizar un generador de agua dulce para satisfacer el resto de necesidades.

Se han considerado correcciones del 2% debido a hierros y del 2% debido a dilataciones. De esta manera dispondremos de dos tanques de capacidad conjunta de 210 m³ de agua dulce.

12.3. Tanque hidróforo de agua fría sanitaria

Dimensionaremos el tanque suponiendo un consumo unitario de 30L. por tripulante y 15L. por pasajero. La capacidad total del tanque se compondrá del 50% de la capacidad total de la tripulación, más el 20% de la capacidad total del pasaje. Por tanto el tanque dispondrá de una capacidad total de 3000L.

12.4. Bombas de circulación de agua fría sanitaria

Existirán dos bombas de alimentación de agua fría sanitaria, una de ellas de respeto. Se dimensionarán con una capacidad tal que cada una sea capaz de proporcionar el volumen del tanque hidróforo de agua fría sanitaria en 5 minutos, por tanto cada bomba tendrá un caudal de 36 m³/h. Supondremos un salto de presión de 5 bar. Dispondrán de una potencia unitaria de 9,4 kW.

12.5. Tanque hidróforo de agua caliente sanitaria

Estimamos las necesidades de agua caliente en un tercio de las de agua fría. Por tanto dispondremos de un tanque de una capacidad total de 1000L.



12.6. Bombas de circulación de agua caliente sanitaria

Existirán dos bombas de alimentación de agua caliente sanitaria, una de ellas de respeto. Se dimensionarán con una capacidad tal que cada una sea capaz de proporcionar el volumen del tanque hidróforo de agua caliente sanitaria en 5 minutos, por tanto cada bomba tendrá un caudal de $12 \text{ m}^3/\text{h}$. Supondremos un salto de presión de 5 bar. Dispondrán de una potencia unitaria de 3,8 kW.

12.7. Tanque de agua potable a presión

Dimensionaremos el tanque suponiendo un consumo unitario de 5L por tripulante y pasajero. La capacidad total del tanque se compondrá del 50% de la capacidad total de la tripulación, más el 75% de la capacidad total del pasaje. Por tanto el tanque dispondrá de una capacidad total de 3100L.

12.8. Bombas de circulación de agua potable

Existirán dos bombas de alimentación de agua potable, una de ellas de respeto. Se dimensionarán con una capacidad tal que cada una sea capaz de proporcionar el volumen del tanque de agua potable en 30 minutos, por tanto cada bomba tendrá un caudal de $6,2 \text{ m}^3/\text{h}$. Supondremos un salto de presión de 5 bar. Dispondrán de una potencia unitaria de 2,4 kW.

12.9. Planta potabilizadora

El agua generada a bordo es agua destilada a baja temperatura, por lo que la posible carga biológica que tuviera el agua de mar no ha sido eliminada. Además, la acidez del agua destilada la hace peligrosa para usos industriales. Por todo ello, el agua generada requiere un tratamiento posterior. En caso de destinarse al consumo humano, se lleva a cabo un proceso de cloración. Para ello se dispondrá de una planta potabilizadora.



13. AIREACIÓN, SONDA Y REBOSE

13.1. Aireación de tanques

Se instalarán tubos de respiro (atmosféricos) en todos los tanques, túneles y otros compartimentos que no dispongan de otro sistema de ventilación. Los atmosféricos de los tanques de aceite y combustible dispondrán de rejillas cortafuegos. Todas las tuberías de aireación se situarán en la parte más alta de los espacios a fin de poder eliminar las posibles bolsas de aire.

Los tubos de respiro de los tanques de combustible se agruparán en un colector común vertical que desemboque en la chimenea del buque. Este colector también estará comunicado con el tanque de reboses de combustible.

Los tanques de lastre y agua dulce llevarán atmosféricos con descarga al costado, por encima de la cubierta principal. Se dispondrá de los medios necesarios para evitar la entrada de agua salada a los tanques de agua dulce.

13.2. Sonda

Todos los tanques de lastre y combustible dispondrán de indicadores de nivel a distancia y de lectura continua. Los indicadores de las sondas estarán situados en las cabinas de control de cámara de máquinas. Estas sondas serán de tipo neumático con aire de baja presión o de cualquier otro sistema que garantice su perfecto funcionamiento.

Siempre que su situación lo permita, todos los tanques del doble fondo, dotados de sensores para sondas a distancia, llevarán además tubos de sonda manuales, similares al resto de los tanques.

13.3. Reboses

Los tanques almacén de HFO rebosarán a un colector común, al que irán también los reboses de los tanques de servicio diario. Este colector tendrá su tubería de aireación independiente, con rejilla cortafuegos. El mismo sistema se utilizará para los tanques de MDF. Estos colectores conducirán a los tanques de reboses de HFO y MDF. El tanque de reboses de HFO también recogerá los derrames de combustible de las bombas de inyección, bandejas, etc.

Asimismo, el aceite lubricante también contará con su propio circuito y su propio tanque de reboses.

El atmosférico del tanque de combustible del motor del generador de emergencia se llevará a cubierta, disponiéndose una bandeja colectora a su alrededor.



14. EQUIPO DE NAVEGACIÓN Y COMUNICACIÓN

14.1. Equipo de navegación

Se deben instalar los siguientes equipos, tal y como exige el Capítulo V del SOLAS:

- Un compás magnético con sistema de compensación magnética.
- Un compás magnético de respeto.
- Un giróscopo con tres repetidores.
- Un piloto automático en conexión con la giroscópica.
- Un indicador de la velocidad de giro.
- Un radiogoniómetro.
- Un receptor DECCA NAVIGATOR.
- Un receptor automático LORAN-C.
- Un sistema de navegación por satélite GPS.
- Una sonda acústica con repetidor digital.
- Un radar de movimiento real.
- Un radar de movimiento relativo.
- Un fax de información meteorológica.
- Un indicador electrónico de ángulo de giro del timón.
- Una corredera.
- Un sistema de indicación de revoluciones y posición de las palas de las hélices de popa.

- Un sistema de indicación de revoluciones de las hélices de maniobra.
- Un indicador del ángulo girado por los timones.
- Un indicador de velocidad y dirección del viento.
- Cartas náuticas, derroteros, libros de faros, avisos a navegantes, tablas de mareas y un ejemplar del Código Internacional de Señales.
- Sextantes, termómetros, barómetros, reglas y prismáticos.

14.2. Equipo de comunicación

14.2.1. Comunicaciones interiores

Se compondrá de los siguientes elementos:

- Un telégrafo de máquinas.
- Un sistema de altavoces y micrófonos para las maniobras de atraque, con unidades en el puente, en la sala de control de máquinas y en las zonas de maniobra de proa y popa.
- Un sistema de altavoces en pasillos y espacios públicos para mensajes de contenido general dirigidos desde el puente a todo el pasaje.
- Un sistema de telefonía móvil GSM., con capacidad para 600 teléfonos en funcionamiento, 100 llamadas simultáneas y 20 líneas libres con conexión a tierra.
- 6 equipos walkie-talkie para comunicación con el puente.



14.2.2. Comunicaciones exteriores

El Capítulo IV del SOLAS indica qué equipos son necesarios:

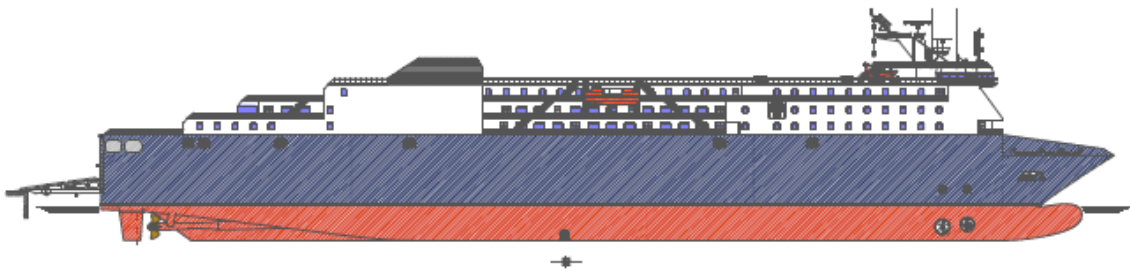
- Una emisora de radio con una potencia máxima de transmisión de 1500 kW.
- Un receptor de escucha y generador de señales de la frecuencia radiotelefónica de socorro.
- Dos radio-teléfonos VHF.
- Un equipo VHF portátil para las balsas de rescate.
- Un sistema de comunicaciones por satélite con télex.
- Dos radio-balizas de emergencia.



Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales

Proyecto Fin de Carrera nº034

ROPAX 4000 TPM



Cuaderno 9

Planta Eléctrica

Tutor:

José María Riola Rodríguez

Alumno:

Francisco Sastre Guasch



Índice

1. INTRODUCCIÓN	4
2. DEFINICIÓN DE LA PLANTA ELÉCTRICA.....	5
2.1. Selección del tipo de corriente.....	5
2.2. Selección de tensiones y frecuencias	5
2.3. Tensiones de trabajo	6
3. DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	7
3.1. Filosofía de diseño.....	7
3.2. Planta principal de generación de energía eléctrica	7
3.3. Planta de emergencia de generación de energía eléctrica	7
3.4. Cuadro principal	8
3.5. Cuadros secundarios	8
3.6. Fuente transitoria de energía eléctrica	9
3.7. Topología.....	9
4. CÁLCULO DE LA POTENCIA DE LOS CONSUMIDORES.....	10
4.1. Enchufes	10
4.1.1. Generalidades	10
4.1.2. Enchufes para tráileres refrigerados.....	10
4.2. Instalación de Fuerza.....	10
4.2.1. Bombas.....	11
4.2.2. Separadoras de combustible y aceite lubricante	11
4.2.3. Ventilación y aire acondicionado	11
4.2.4. Instalación hidráulica	11
5. BALANCE ELÉCTRICO	12
6. DETERMINACIÓN DEL NÚMERO Y PROPIEDADES DE LOS GRUPOS GENERADORES.....	14
6.1. Factores que influyen en la selección de los grupos generadores.....	14
6.2. Selección de los Grupos Generadores Auxiliares	15
6.2.1 Motores auxiliares (MMAA)	16
6.2.2 Generadores de cola (PTOs).....	17
6.3. Tomas de Corriente desde Puerto	18



7. GENERADOR DE EMERGENCIA	19
7.1 Grupo de emergencia.....	20
8. TRANSFORMADORES.....	21
9. CUADRO PRINCIPAL.....	22
Anexo 1. Balance eléctrico	23
ANEXO 2. Balance eléctrico de emergencia	30
Anexo 3. Esquema Unifilar	32



1. INTRODUCCIÓN

En este cuaderno se agruparan todos los consumos de los diferentes equipos y servicios de los que está compuesto el buque proyecto. Con todo ello podemos obtener una estimación del consumo total del buque en las diferentes situaciones operativas en las que se va a encontrar.

Atendiendo a los consumos para cada situación operativa podremos elegir los generadores auxiliares, y el generador de emergencia.



2. DEFINICIÓN DE LA PLANTA ELÉCTRICA

2.1. Selección del tipo de corriente

- Se utilizará corriente **alterna trifásica**, tal y como es habitual, dado que presenta las siguientes ventajas:
- Menor coste de instalación y mantenimiento de equipos.
- Menor peso y empacho de los equipos.
- Mayor disponibilidad de equipos.
- Posibilidad de alimentación mediante la red de puerto, de precio más económico que la generación a bordo.
- Mayor fiabilidad.
- Permite el uso de tensiones más elevadas, lo que conlleva una menor sección de cables y barras.
- Escalonamiento de tensiones con transformadores.
- Uso más extendido en este tipo de buques.

2.2. Selección de tensiones y frecuencias

A bordo existirán dos tipos de redes: una **red de fuerza** para aquellos equipos que demanden una gran potencia, y una **red de baja tensión** para aquellos elementos que no demandan tanta energía o que, dada su cercanía a la tripulación, pueden constituir un peligro.

Las dos redes de alta tensión más utilizadas son la de 440V/60Hz, de mayor extensión en América, y la de 380V/50Hz.

Una mayor frecuencia permite utilizar motores más revolucionados y, por tanto, más ligeros y baratos, pero obliga a aumentar el aislamiento de los cables para minimizar las pérdidas de calor.

Por otro lado, una tensión mayor permite manejar cables de menor diámetro (menor intensidad requerida), pero obliga a una mayor especialización de la tripulación.

Considerando lo anterior y dado que nuestro buque probablemente navegue por aguas europeas, se decide optar por una **red de fuerza de 380V/50Hz** y por una **red de baja tensión de 220 V/60 Hz**. Se transformará la tensión de 380V a 220V mediante un transformador monofásico refrigerado por aire.



2.3. Tensiones de trabajo

La siguiente tabla muestra las tensiones de trabajo de los diferentes equipos y consumidores:

Grupos y PTOs, ventilación, bombas...	380	3 Fases
Iluminación 220 V	220	3 Fases
Circuitos de control	220	3 Fases
Equipos de lavandería	220	3 Fases
Equipos de cocina	220	3 Fases
Instrumentos de navegación	220	3 Fases
Estación de radio	220	3 Fases
Sirenas y alarmas	220	3 Fases
Alarmas de motores	220	3 Fases
Iluminación de emergencia	220	3 Fases
UPS Automoción e instrumentación	24cc	Corriente continua



3. DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

3.1. Filosofía de diseño

Toda la instalación eléctrica del buque debe cumplir con las reglas de la sociedad de clasificación correspondiente (en nuestro caso, Bureau Veritas), el SOLAS, la normativa del país que abandere el buque y las normas de la International Electrotechnical Commission (IEC).

Se procurará que el material eléctrico sea instalado en un lugar accesible, lejos de materiales inflamables y en espacios bien ventilados, donde no esté expuesto a riesgo de daño mecánico o a la acción de agua, vapor, aceite o combustible. La totalidad del material de la instalación será de alta calidad para uso marino y uso no restringido (45°C de temperatura ambiente). Además, aquellos aparatos eléctricos expuestos a la intemperie tendrán que disponer de una protección estanca al chorro de agua, siendo el índice de protección al menos de IP55, y estando fabricados en materiales resistentes al medio marino.

La instalación también responderá eficientemente a las condiciones normales de vibración a bordo.

Se protegerán convenientemente aquellos elementos que puedan ser dañados por vehículos y se evitará situar cableado eléctrico sobre los motores principales o auxiliares o cerca de los conductos de exhaustación.

3.2. Planta principal de generación de energía eléctrica

La planta principal estará compuesta de tres grupos diesel-generator, uno de los cuales será de respeto, más dos generadores de cola accionados por los motores principales a través de tomas en las reductoras. Los generadores de cola funcionarán únicamente en la situación de maniobra.

3.3. Planta de emergencia de generación de energía eléctrica

La planta de emergencia suministra energía eléctrica para el salvamento del buque en caso de que la planta principal quede inoperativa o en caso de abandono del buque. El buque contará con un generador de emergencia que se conectará a la red al caer la tensión del sistema principal. Situado en un local sobre la segunda cubierta de tripulación, permitirá alimentar el servo y la bomba CI con corriente alterna trifásica a 380V y 50Hz, el alumbrado de emergencia mediante una transformación a 220V/50Hz, y, tras el conveniente rectificado a 24V, alimentará las luces y aparatos de navegación.

Tal y como establece la regla II.1.42 del SOLAS, el generador de emergencia deberá ser capaz de satisfacer los siguientes consumos:

- Por un periodo de 36h, el alumbrado de emergencia de todos los puestos de reunión de emergencia y de embarque a los botes salvavidas, vías de evacuación, salas de control (sala de control de CCMM y aquellas que contengan cuadros principales y de emergencia), el local del servo, etc.



- Por un periodo de 36h, las luces de navegación y demás luces requeridas por el Reglamento internacional para prevenir los abordajes; y los dispositivos de radiocomunicaciones.
- Por un periodo de 36h, todos los equipos de comunicaciones interiores requeridos en una situación de emergencia, los sistemas de detección de incendios y de alarma, etc.
- Por un periodo de 36h, una de las bombas contra incendios, las bombas de los rociadores automáticos, la bomba de emergencia para el achique de sentinas y todo el equipo esencial para el funcionamiento de las válvulas teledirigidas de sentinas.
- Por un periodo de media hora, toda puerta estanca que haya de ser accionada a motor junto con sus indicadores y señales de aviso; y los dispositivos de emergencia que impulsan los ascensores hasta la cubierta para la evacuación de personas.
- Durante el tiempo prescrito en la Regla 29.14 del Capítulo II.1, el aparato de gobierno.
- Pese a que las propiedades del generador de emergencia serán similares a las de los generadores principales, no estará preparado para su utilización en paralelo.
- El arranque del generador de emergencia y su conexión a las barras del cuadro de emergencia se realizará automáticamente en caso de falta de tensión en el cuadro principal y también podrá realizarse manualmente en caso de fallo o avería del sistema automático.

3.4. Cuadro principal

El cuadro principal de distribución eléctrica estará **situado en la sala de control de la cámara de máquinas**. Contará con puertas delanteras y traseras para facilitar el acceso a sus elementos. La estructura del cuadro estará conectada a la masa del buque.

Estará dividido en paneles para los diferentes servicios del buque siguiendo una distribución normal, que consistirá en situar en el centro los paneles destinados a los generadores y sincronización para el adecuado acoplamiento de los mismos. A ambos lados se situarán los servicios esenciales y no esenciales. Todos los elementos estarán convenientemente identificados, indicando su servicio.

3.5. Cuadros secundarios

Dispondremos de cuadros secundarios para aquellos circuitos de fuerza que se alimentan directamente desde el principal. También alimentaremos el alumbrado mediante la disposición de varios cuadros secundarios en las zonas adecuadas. Cada uno de los cuadros estará conectado al cuadro principal.

En el interior de cada cuadro secundario se encontrarán los elementos de control y protección contra sobrecarga, como contactores con relés térmicos, así como los circuitos de arranque (arrancadores estrella-triángulo) de aquellos motores que lo precisen. Se llevará a cabo un ajuste adecuado de los dispositivos contra sobrecarga para conseguir un carácter selectivo de la red.

Los cuadros secundarios tendrán una salida trifásica adecuada a los elementos que soportan.



Los cuadros de alimentación de las luces de alumbrado exterior, navegación y señales, se encuentran en el puente de gobierno. El cuadro secundario de las luces de navegación debe recibir alimentación tanto del cuadro principal como del de emergencia.

3.6. Fuente transitoria de energía eléctrica

La fuente transitoria de energía se compone de un conjunto de baterías, rectificadores e inversores y sistemas de alimentación ininterrumpida (UPS). Estos elementos estarán dimensionados para facilitar el suministro de energía eléctrica para iluminación de los escapes durante 30 minutos, así como para equipos de comunicación y seguridad de emergencia. Además, es capaz de permitir continuidad en la iluminación durante el corto periodo de tiempo desde que se produce el black-out hasta que arranca el grupo de emergencia, con el fin de que no cunda el pánico.

Nuestro buque proyecto va a disponer de los siguientes tipos de baterías y UPS:

- Baterías de Níquel-Cadmio (24V) para el arranque y automoción del grupo generador de emergencia. Se encuentran en el local de baterías.
- Baterías de Níquel-Cadmio para alimentar el sistema de alarma contra incendios, y baterías de plomo, para los equipos de radio. Están situadas en el local de baterías.
- Baterías de Plomo para la iluminación de escapes, seguridad y sistemas de navegación.

Disponen de capacidad para 3 horas de servicio ininterrumpido en el caso del alumbrado. Asociado a este grupo de baterías existe un UPS (trifásico, 220V/50Hz) con inversor. Están localizadas en la sala de baterías.

Los cargadores de las baterías van a estar permanentemente conectados y alimentados desde el cuadro de emergencia y serán capaces de suministrar la carga total de todos los consumidores conectados, además de la carga necesaria para la recarga de las baterías.

3.7. Topología

Se ha optado por utilizar una distribución de neutro aislado, es decir, una red aislada para la cual el neutro, aun siendo accesible, no está conectado a tierra. Este tipo de instalación presenta la ventaja de reducir la probabilidad de accidente eléctrico, al estar tanto las fases como el neutro aislados del casco.



4. CÁLCULO DE LA POTENCIA DE LOS CONSUMIDORES

4.1. Enchufes

4.1.1. Generalidades

Los enchufes e interruptores situados a la intemperie, en espacios de máquinas o en pañoles serán estancos, aptos para trabajar en entorno marino y de capacidad adecuada. Los enchufes estancos dispondrán de una tapa sujeta con cadena para evitar la entrada de agua o cualquier cuerpo extraño. Del mismo modo, los enchufes situados a la intemperie llevarán además una cubierta protectora contra la lluvia.

En cámara de máquinas, la separación entre enchufes será tal que las zonas puedan ser iluminadas con lámparas portátiles provistas de 20m de cable.

En los camarotes y aseos de tripulación habrá enchufes para equipos de radio, TV y máquinas de afeitar.

4.1.2. Enchufes para tráileres refrigerados

Por especificaciones de proyecto, nuestro buque debe disponer de 60 tomas para tráileres refrigerados. Estarán situadas en la cubierta principal de carga. Estas tomas proporcionarán alimentación a 220V, serán de tipo estanco y dispondrán de dispositivos de enclavamiento mediante interruptor o similar. Las líneas de alimentación y los enchufes serán dimensionados para cargas de 15kW cada una.

4.2. Instalación de Fuerza

La instalación de fuerza estará compuesta de todos los equipos instalados en el buque que se alimentan de corriente eléctrica a excepción del alumbrado y los equipos de navegación y control.

La asignación de un motor eléctrico a un equipo se lleva a cabo considerando las siguientes potencias:

- Potencia de servicio, PS: la que el equipo suministra en forma de energía hidráulica, mecánica, etc. Se obtiene a partir de expresiones que ligan propiedades físicas requeridas o viene definida en las especificaciones del equipo.
- Potencia en el eje, PE: la que suministra el motor eléctrico para proporcionar la potencia de servicio.
- Potencia nominal del motor, PN: la que indica su placa, normalmente superior a la potencia requerida en el eje por razones de normalización.
- Potencia consumida o absorbida (en bornes), PC: se mide en los bornes del motor. Por lo tanto, será igual a la potencia en el eje dividida entre el rendimiento del motor.
- Potencia demandada, PD: tiene en cuenta las pérdidas en el sistema de distribución desde los generadores hasta los consumidores (cables, aparatos y transformadores).



Se puede calcular teniendo en cuenta las caídas de tensión. Su valor, que no sobrepasa el 6%, no suele considerarse en el cálculo de los motores eléctricos, pero debe tenerse en cuenta cuando se dimensionen los generadores principales.

A continuación se expone cómo se ha determinado la potencia eléctrica de los diferentes consumidores de la instalación de fuerza. En caso de no disponer de suficientes datos para obtener dicha potencia, se ha estimado en base a la potencia requerida por consumidores similares de otros buques semejantes ya construidos.

4.2.1. Bombas

Determinamos la potencia de servicio y la potencia eléctrica consumida por las bombas a partir de las siguientes expresiones:

$$P_S = Q \cdot \Delta P \quad P_C = \frac{P_S}{\eta_M \cdot \eta_E}$$

Donde:

- P_S : potencia de servicio.
- Q : capacidad de la bomba.
- ΔP : salto de presión de la bomba.
- P_C potencia eléctrica consumida por la bomba.
- η_M : rendimiento mecánico de la bomba.
- η_E : rendimiento del motor eléctrico.

Se han estimado los rendimientos haciendo uso de las tablas incluidas en el Anexo 1.

4.2.2. Separadoras de combustible y aceite lubricante

Para cada uno de ellas se estima el caudal (y el correspondiente consumo eléctrico) a partir de la información de la que se dispone de catálogos comerciales y de los datos del buque base.

4.2.3. Ventilación y aire acondicionado

La potencia de los ventiladores y compresores que forman parte de los sistemas de ventilación y aire acondicionado, fue calculada en los cuadernos 7 y 8.

4.2.4. Instalación hidráulica

En el apartado 4 del Cuaderno 8 se describió la instalación hidráulica y se calculó la potencia eléctrica necesaria para su funcionamiento.



5. BALANCE ELÉCTRICO

Para poder determinar la potencia eléctrica que precisa el buque para su actividad hemos de estimar las potencias que van a ser demandas por los distintos elementos que consumen energía eléctrica. Sin embargo, la potencia a instalar no es la suma de la potencia de todos los consumidores dado que la mayoría de estos no funciona simultáneamente. Por ello estudiaremos las distintas situaciones que se presentan en el servicio del buque y que son:

- **Navegación en condiciones normales.**
- **Estancia En Puerto.**
- **Maniobras de atraque y desatraque.**
- **Operaciones de carga y descarga.**

Para realizar el balance, clasificaremos los consumidores en los siguientes grupos:

- Servicios auxiliares de motores principales y motores auxiliares.
- Servicios auxiliares diversos.
- Aparatos de gobierno.
- Ventilación y extracción de locales no acondicionados.
- Equipos de carga y descarga.
- Equipos de seguridad y varios.
- Habitación y aire acondicionado.
- Electrónica y alumbrado.

En el balance eléctrico analizaremos la fracción de potencia absorbida por la red en cada una de las situaciones mencionadas anteriormente mediante del llamado **coeficiente de utilización** (K_u), obtenido a partir de la siguiente expresión:

$$K_u = K_n \cdot K_{sr}$$

Donde:

- K_n : Coeficiente de simultaneidad. Representa la relación entre los equipos instalados a bordo y los equipos en servicio. En el caso de los servicios esenciales, siempre se dispondrá de elementos de respeto.
- K_{sr} : Coeficiente de servicio y régimen. Representa el porcentaje de tiempo que un equipo está trabajando a su potencia máxima.



Las siguientes tablas muestran el consumo por cada grupo de consumidores en cada una de las situaciones operativas del buque. El balance detallado se muestra en el Anexo 1.

Resumen	P. consumida (kW)			
	Nav.	Man.	C y D	Puerto
Servicios Auxiliares MMPP	297.64	314.84	122.65	77.45
Servicios Auxiliares Diversos	93.34	82.64	171.32	21.92
Maniobra, Timón y Aletas estabilizadoras	84.70	1864.20	0.00	0.00
Ventilación y Extracción (locales no acondicionados)	333.13	342.08	147.00	141.76
Equipos de Carga y Descarga	401.20	401.20	631.10	79.10
Equipos de Seguridad	16.35	16.35	109.00	0.00
Habilitación y aire acondicionado	631.08	501.08	278.06	278.06
Alumbrado y Electrónica	259.20	259.20	258.20	230.20
Potencia Total (kW)	2116.64	3781.59	1717.33	828.49
Potencia Aparente (kVA ; $\cos\phi = 0,8$)	2645.80	4726.98	2146.67	1035.62



6. DETERMINACIÓN DEL NÚMERO Y PROPIEDADES DE LOS GRUPOS GENERADORES

6.1. Factores que influyen en la selección de los grupos generadores

La selección de la planta generadora de energía eléctrica a instalar vendrá determinada por los siguientes factores:

- Se intentará minimizar el número de generadores auxiliares independientes, con objeto de abaratar el coste de la instalación.
- El nº de generadores instalados menos uno deberán ser capaces de desarrollar suficiente energía eléctrica en la situación de mayor demanda.
- Los generadores auxiliares serán del mismo tamaño, modelo y prestaciones con objeto de reducir los costes de mantenimiento y aumentar la disponibilidad de piezas y la facilidad de instalación.
- Se procurará disponer de generadores de cola acoplados a tomas de las reductoras, para aprovechar el hecho de disponer de revoluciones casi constantes del motor principal debido a las hélices de paso controlable.

Disponer en una instalación de generadores de cola permite, entre otras cosas lo siguiente:

- Una mayor versatilidad ante situaciones muy diversas de carga eléctrica.
- Ahorro en mantenimiento y costes de reparación, debido a la reducción de horas de servicio de los motores auxiliares.
- Ahorro en aceite lubricante.
- Menor inversión inicial, dado que se reduce el número y la potencia de los generadores auxiliares y sus equipos asociados.
- Menor empacho y peso.
- Reducción de ruido.

Como se ha comentado previamente, el hecho de disponer de hélices de paso controlable nos permite mantener los motores funcionando a rpm constantes, por lo que utilizando generadores de cola (PTOs) podríamos aprovechar el exceso de potencia para suministrar energía eléctrica a voltaje y frecuencia constante.

Las PTOs pueden verse afectadas por las variaciones del par resistente de las hélices durante la navegación (debido, por ejemplo, a pasar de estar en el seno a la cresta de la ola). Sin embargo hoy en día los reguladores de frecuencia permiten resolver este problema sin inducir una gran cantidad de armónicos en la red, evitando la necesidad de introducción de filtros o aumentar la instalación, con el consiguiente coste y empacho.

La solución más fiable es una instalación de cuadro partido, en la cual cada PTO alimenta una zona de la red. Para evitar descompensaciones en la red debería realizarse un estudio pormenorizado de la distribución de consumidores.



6.2. Selección de los Grupos Generadores Auxiliares

A partir de los resultados obtenidos en el balance eléctrico y de las consideraciones expuestas en el apartado anterior, se decide disponer de la siguiente instalación:

- Tres grupos auxiliares de 1000 kW cada uno, dos en servicio y otro de respeto.
- Dos generadores de cola (PTOs) de 832 kW cada uno. Proporcionarán energía eléctrica al buque proyecto en la condición de maniobra, trabajando a su máxima capacidad, dado que el buque requiere menos potencia para la propulsión y existe una gran demanda de potencia por parte de las hélices de proa y los ventiladores de las cubiertas de carga rodada.

A continuación se muestra una tabla con los grupos generadores y en la que se muestra, para cada uno de ellos, el régimen de funcionamiento con el que harán frente a la demanda de energía eléctrica en las diferentes situaciones de carga eléctrica expuestas en el capítulo anterior.

	Nav.	Man.	C y D	Puerto
P _e necesaria (kW)	2116,64	3781,59	1717,33	828,49
Nº Generadores	2	2	2	1
P _e unitaria (kW)	1140	1140	1140	1140
Régimen	93%	96%	75%	73%
Nº PTOs	0	2	0	0
P. unitaria (kW)	832	832	832	832
Régimen	0%	100%	0%	0%

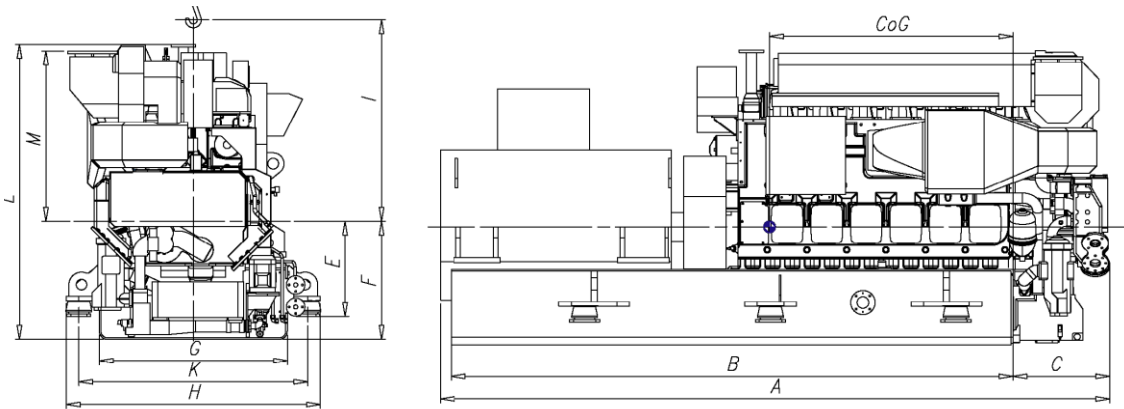
Los regímenes de potencia obtenidos de los grupos auxiliares permitirán prevenir el probable incremento con el paso del tiempo de la potencia demandada por la instalación y alargar la vida útil de los equipos.



6.2.1 Motores auxiliares (MMAA)

Se dispondrá de 3 grupos diesel-generator exactamente iguales. El modelo seleccionado es el **Wärtsilä Auxpac 1140W6L20**. Se ha procurado que el fabricante sea el mismo que el de los MMPP, con el fin de simplificar el soporte y mantenimiento.

Wärtsilä Auxpac 1140W6L20	
Nº cilindros	6
Disposición	L
RPM	1000
Potencia cilindro (kW/cil)	200
Potencia motor (kW)	1200
Presión media efectiva (MPa)	2,73
Diámetro cilindro (mm)	200
Carrera cilindro (mm)	280
Frecuencia (Hz)	50
Potencia del generador (kW)	1140

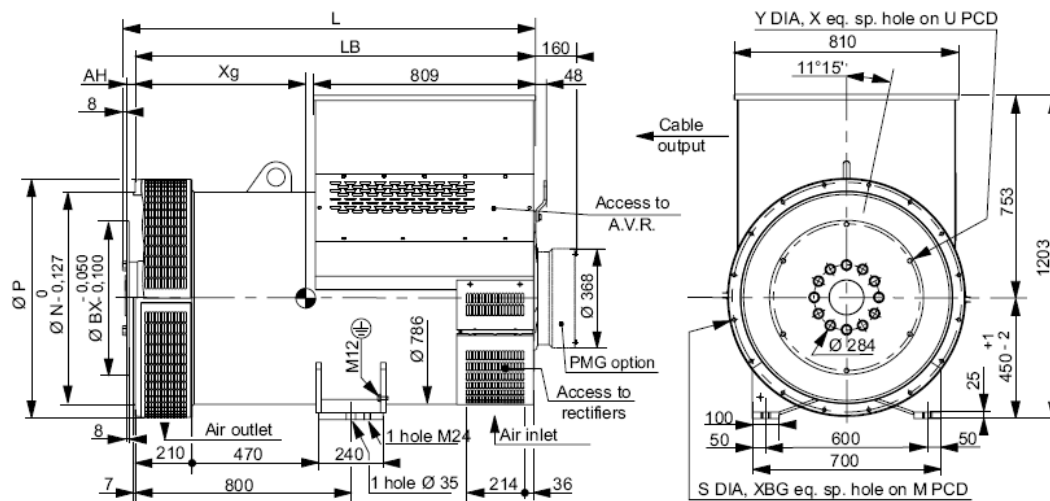


A	B	C	E	F	G	H	I	K	L	M	CoG	Weight Wet	Weight Dry
5212	4370	732	725	900	1420	1920	1800	1730	2248	1299	1892	18,1	17,5

6.2.2 Generadores de cola (PTOs)

Las PTOs seleccionadas son el modelo LSA 50.2 S4, 4 Pole de Leroy Sommers. Cada PTO debe funcionar a su máxima potencia en la condición de maniobra.

LSA 50.2 S4	
Potencia motor (kW)	832
Potencia aparente (kVA)	1040
RPM	1500
Frecuencia (Hz)	50
Nº polos	4



TYPE	L without PMG	LB	Xg	Weight (kg)
LSA 50.2 S4	1302	1278	620	2290



6.3. Tomas de Corriente desde Puerto

El buque podrá disponer de suministro eléctrico durante su estancia en puerto gracias a dos tomas, una a cada banda, dimensionadas convenientemente.

La intensidad nominal que circula por los cables de cada toma queda definida en función de la demanda eléctrica del buque en la situación de estancia en puerto mediante la siguiente expresión:

$$S = \sqrt{3} \cdot V_n \cdot I_n = 1035,62 \text{ kVA}$$

De este modo, las tomas de corriente de puerto serán capaces de suministrar una corriente al buque de 1575A a 380v y 50 Hz.



7. GENERADOR DE EMERGENCIA

Se instalará un grupo de emergencia que cubra las necesidades esenciales del buque, tal y como se describe en la Regla 42 del Cap. II-1 Parte D del SOLAS. Este generador podrá satisfacer las siguientes necesidades:

- Por tres horas, los proyectores en cualquier cubierta de embarque de botes.
- Durante dieciocho horas, las luces de emergencia de todos los lugares públicos tanto de pasajeros como de tripulantes, destacando escaleras, salidas de emergencia y ascensores, locales de máquinas y estaciones principales de generación de energía, en todas las estaciones de control, en todos los locales contraincendios, en la cámara del servomotor y en los locales de bombas de achique y contraincendios.
- Durante dieciocho horas, todas las luces de navegación, así como todas las luces exigidas por el Reglamento para la Prevención de Abordajes en la Mar.
- Durante dieciocho horas, las comunicaciones internas de emergencia, las ayudas a la navegación, los sistemas de detección y alarma contraincendios.
- Durante dieciocho horas, las bombas de achique y contraincendios.
- Los servomotores hasta parada efectiva del buque, con máxima arrancada.
- Durante el tiempo necesario para poner en funcionamiento los servicios esenciales del buque.
- Durante dieciocho horas, los equipos de radionavegación.

El generador de emergencia puede ser tanto un generador, como un grupo de baterías, pero se decide optar por un generador para dar mayor seguridad.

El generador de emergencia debe poseer una capacidad superior a la de emergencia mínima que exige el reglamento. Ello nos permite sobredimensionar su potencia, pudiendo incluir servicios no requeridos, como el alumbrado exterior.

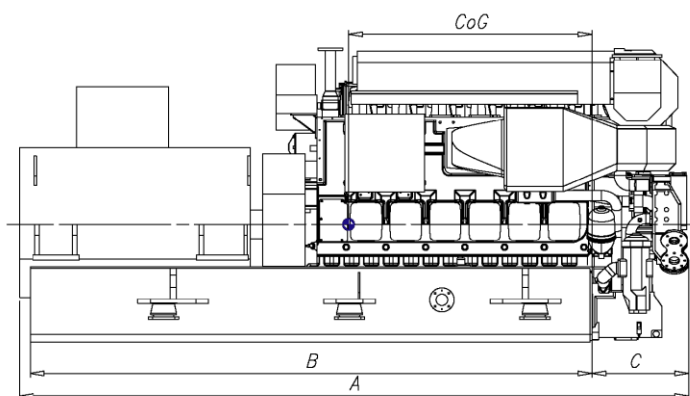
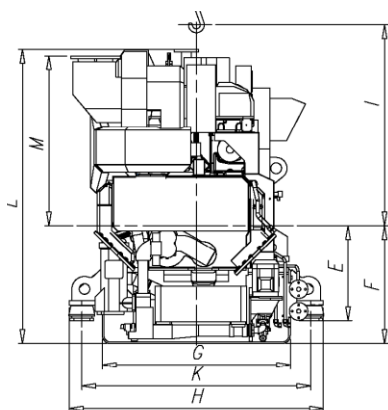
En el Anexo 2 de este cuaderno se incluye el Balance eléctrico en la situación de emergencia. El sistema de control de arranque del generador permitirá el arranque automático del grupo generador y su conexión al cuadro de emergencia y, en su defecto o fallo, un arranque manual.



7.1 Grupo de emergencia

Se instalará un grupo generador-diesel de emergencia para la generación de energía eléctrica en situación de emergencia. Se decide instalar un **Wärtsilä Auxpac 790W6L20**, cuyas principales características son las siguientes:

Wärtsilä Auxpac 790W6L20	
Nº cilindros	6
Disposición	L
RPM	1000
Potencia cilindro (kW/cil)	138,67
Potencia motor (kW)	832
Presión media efectiva (MPa)	1,89
Diámetro cilindro (mm)	200
Carrera cilindro (mm)	280
Frecuencia (Hz)	50
Potencia del generador (kW)	790



A	B	C	E	F	G	H	I	K	L	M	CoG	Weight Wet	Weight Dry
5007	4200	732	725	900	1420	1920	1800	1730	2248	1299	1687	16,3	15,8



8. TRANSFORMADORES

Para la alimentación de los servicios a 380v se dispondrán dos transformadores trifásicos, cada uno de ellos es capaz de conducir la totalidad de la demanda eléctrica de la red de alumbrado.

Ambos se situarán en la cámara de máquinas. Las características de los elementos de protección son acordes a la filosofía de diseño, es decir un sistema de protección del equipo y otro de control.

Asimismo, en la cubierta 7 se situará otro transformador, junto al generador de emergencia, que también funcionará a 380v/220v.

Todos los transformadores instalados en el buque proyecto tendrán las siguientes características:

- Tensiones 220V/380V.
- Aislamiento Clase B.
- Refrigeración natural.
- Protección IP-23.



9. CUADRO PRINCIPAL

El cuadro principal estará situado en la cámara de máquinas, concretamente en la sala de control. Los módulos correspondientes a los grupos y al control de la sincronización se colocan en el centro. Los servicios esenciales se distribuyen entre los módulos de los dos extremos, donde también aparecen los servicios de los consumidores no esenciales, del transformador, la red de alumbrado, etc.

Internamente los distintos módulos se conectan por medio de barras. Éstas son los perfiles rectangulares de cobre que sustituyen a los cables para grandes intensidades (barras principales) o a conjuntos de cables (barras auxiliares y de mando). De ellas “cuelgan” los distintos generadores, consumidores y demás circuitos de medida y mando. Las barras tienen sección rectangular y una relación de esbeltez elevada, para así lograr una mejor disipación térmica, facilitar su sujeción y reducir el efecto pelicular. Existen tres tipos de barras:

- Las barras principales: por ellas pasa la totalidad de la corriente de la planta.
- Las barras auxiliares: son un reflejo de la tensión de las principales.
- Las barras de alimentación de los circuitos de mando: a 220 V.

En la parte superior se colocan los instrumentos de medida, lámparas e interruptores o pequeños conmutadores y en la parte inferior, los interruptores de mayor potencia y otros elementos internos.

En el Anexo 3 se incluye el diagrama unifilar de nuestra instalación.



Anexo 1. Balance eléctrico

Servicios Auxiliares MMPP	Nº		P. unitaria	P. total instalada	P. en servicio	Kn	Ksr				P. consumida (kW)			
	Inst.	Serv.	(kW)	(kW)	(kW)		Nav.	Man.	C y D	Puerto	Nav.	Man.	C y D	Puerto
Bombas circulación AD LT	4	2	26	104	52	0.5	0.7	0.7	0.4	0.2	36.4	36.4	20.8	10.4
Bomba circulación AD HT	4	4	23	92	92	1	0.7	0.7	0.4	0.2	64.4	64.4	36.8	18.4
Bomba circulación AS	3	2	32	96	64	0.67	0.7	0.7	0.4	0.2	44.8	44.8	25.6	12.8
Bombas alimentación de combustible MMPP	4	2	2.6	10.4	5.2	0.5	0.8	0.8	0	0	4.2	4.2	0.0	0.0
Bomba circulación de combustible MMPP	4	2	6.5	26	13	0.5	0.8	0.8	0	0	10.4	10.4	0.0	0.0
Bomba de trasiego HFO	4	2	18.4	73.6	36.8	0.5	0.2	0.2	0.2	0.2	7.4	7.4	7.4	7.4
Bombas alimentación de separadoras HFO	6	2	2.6	15.6	5.2	0.33	1	1	0.1	0.1	5.2	5.2	0.5	0.5
Bombas de trasiego aceite	4	2	4.3	17.2	8.6	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3	2.6	2.6	2.6	2.6
Bomba prelubricación aceite MMPP	4	2	22	88	44	0.5	0	0	0.2	0.2	0.0	0.0	8.8	8.8
Bombas de alimentación de la separadora de aceite	6	2	2.4	14.4	4.8	0.33	0.6	0.6	0	0	2.9	2.9	0.0	0.0
Unidades de alimentación de combustible MMPP	2	2	3	6	6	1	0.8	0.8	0	0	4.8	4.8	0.0	0.0
Bombas alimentación de combustible MMAA	6	2	1.5	9	3	0.33	0.6	0.6	0.6	0.4	1.8	1.8	1.8	1.2
Bombas circulación de combustible MMAA	6	2	3	18	6	0.33	0.6	0.6	0.6	0.4	3.6	3.6	3.6	2.4
Unidades de alimentación de combustible MMAA	3	2	3	9	6	0.67	0.7	0.6	0.7	0.4	4.2	3.6	4.2	2.4
Bomba de trasiego MDF	4	2	1.4	5.6	2.8	0.5	0.2	0.2	0.2	0.2	0.6	0.6	0.6	0.6
Bombas de lodos de separadoras HFO	3	2	0.4	1.2	0.8	0.67	1	1	0.1	0.1	0.8	0.8	0.1	0.1
Unidades separadoras HFO	2	2	5	10	10	1	1	1	0.1	0.1	10.0	10.0	1.0	1.0
Bomba alimentación de separadora MDF	2	1	0.3	0.6	0.3	0.5	0.6	0.6	0.1	0.1	0.2	0.2	0.0	0.0
Bombas de lodos de separadora MDF	2	1	0.1	0.2	0.1	0.5	0.6	0.6	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0
Unidad separadora MDF	1	1	0.1	0.1	0.1	1	0.6	0.6	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0



Ropax 4000 TPM

Planta Eléctrica

Unidades separadoras aceite MMPP	2	2	12	24	24	1	0.6	0.6	0	0	14.4	14.4	0.0	0.0
Bombas lubricación de la reductora	4	2	18	72	36	0.5	1	1	0.1	0.1	36.0	36.0	3.6	3.6
Unidad separadora aceite MMAA	1	1	10	10	10	1	0.6	0.6	0	0	6.0	6.0	0.0	0.0
Bombas accionamiento CPP	4	2	25	100	50	0.5	0.7	1	0.1	0.1	35.0	50.0	5.0	5.0
Bomba refrigeración compresores de aire de arranque	2	1	3	6	3	0.5	0.2	0.2	0.1	0.1	0.6	0.6	0.3	0.3
Compresores aire arranque	2	2	7	14	14	1	0.1	0.3	0	0	1.4	4.2	0.0	0.0
Compresor de emergencia	1	1	1.8	1.8	1.8	1	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0
TOTAL											297.6	314.8	122.7	77.5

Servicios Auxiliares Diversos	Nº		P. unitaria (kW)	P.total instalada (kW)	P. en servicio (kW)	Kn	Ksr				P. consumida (kW)			
	Inst.	Serv.					Nav.	Man.	C y D	Puerto	Nav.	Man.	C y D	Puerto
Bombas agua fría sanitaria	2	1	9.4	18.8	9.4	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	6.6	6.6	6.6	6.6
Bombas agua caliente sanitaria	2	1	3.8	7.6	3.8	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	2.7	2.7	2.7	2.7
Bombas agua potable	2	1	2.4	4.8	2.4	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	1.7	1.7	1.7	1.7
Bombas de sentinas	4	3	35	140	105	0.75	0.5	0.5	0.5	0.1	52.5	52.5	52.5	10.5
Bombas de lastre	4	2	53.5	214	107	0.5	0.2	0.1	0.7	0	21.4	10.7	74.9	0.0
Bomba antiescora	1	1	45	45	45	1	0.1	0.1	0.7	0	4.5	4.5	31.5	0.0
Separador de sentinas	2	1	2.5	5	2.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.1	1.3	1.3	1.3	0.3
Bombas achique de caja de cadenas	2	1	2.5	5	2.5	0.5	0.5	0.5	0.1	0.1	1.3	1.3	0.3	0.3
Bombas descarga aguas grises	2	1	3.8	7.6	3.8	0.5	0.4	0.4	0	0	1.5	1.5	0.0	0.0
TOTAL											93.3	82.6	171.3	21.9



Ropax 4000 TPM

Planta Eléctrica

Maniobra, Timón y Aletas estabilizadoras	Nº		P. unitaria	P.total instalada	P. en servicio	Kn	Ksr				P. consumida (kW)			
	Inst.	Serv.	(kW)	(kW)	(kW)		Nav.	Man.	C y D	Puerto	Nav.	Man.	C y D	Puerto
Bombas servomotor	4	2	30	120	60	0.5	1	1	0	0	60.0	60.0	0.0	0.0
Molinetes	2	2	109	218	218	1	0	0.4	0	0	0.0	87.2	0.0	0.0
Chigres proa	2	2	62.5	125	125	1	0	0.4	0	0	0.0	50.0	0.0	0.0
Chigres popa	2	2	62.5	125	125	1	0	0.4	0	0	0.0	50.0	0.0	0.0
Hélices transversales de proa	2	2	1155	2310	2310	1	0	0.7	0	0	0.0	1617.0	0.0	0.0
Bombas aletas estabilizadoras	4	2	15	60	30	0.5	0.8	0	0	0	24.0	0.0	0.0	0.0
Bombas engrase aletas estabilizadoras	4	2	0.5	2	1	0.5	0.7	0	0	0	0.7	0.0	0.0	0.0
TOTAL											84.7	1864.2	0.0	0.0

Ventilación y Extracción (locales no acondicionados)	Nº		P. unitaria	P.total instalada	P. en servicio	Kn	Ksr				P. consumida (kW)			
	Inst.	Serv.	(kW)	(kW)	(kW)		Nav.	Man.	C y D	Puerto	Nav.	Man.	C y D	Puerto
Espacios de carga				720	480		0.6	1	1	0.4	288.0	480.0	480.0	192.0
Local servo				12.7	8.4	0.67	1	1	0.4	0.4	8.4	8.4	3.4	3.4
Taller eléctrico				3.7	1.9	0.5	1	1	0.4	0.4	1.9	1.9	0.7	0.7
Local de MMAA				57.3	37.7	0.67	1	1	0.4	0.4	37.7	37.7	15.1	15.1
Local de MMPP				446.1	247.8	0.56	1	1	0.4	0.4	247.8	247.8	99.1	99.1
Local separadoras				20.8	13.8	0.67	1	1	1	1	13.8	13.8	13.8	13.8
Taller mecánico				9.6	4.8	0.5	1	1	0.4	0.4	4.8	4.8	1.9	1.9
Local de tratamiento séptico				6.2	3.1	0.5	1	1	1	1	3.1	3.1	3.1	3.1
Local de hélices transversales				19.7	13.1	0.67	0.4	1	0.4	0	5.2	13.1	5.2	0.0



Ropax 4000 TPM

Planta Eléctrica

Local compresores	9.6	4.8	0.5	1	1	0.4	0.4	4.8	4.8	1.9	1.9
local CI y Sentinas	9.6	4.8	0.5	1	1	0.4	0.4	4.8	4.8	1.9	1.9
Local del generador de emergencia	1.8	0.9	0.5	0.4	1	0.4	0.4	0.4	0.9	0.4	0.4
Local de baterías	1.8	0.9	0.5	0.4	1	0.4	0.4	0.4	0.9	0.4	0.4
TOTAL								333.1	342.1	147.0	141.8

Equipos de Carga y Descarga	Nº		P. unitaria	P.total instalada	P. en servicio	Kn	Ksr				P. consumida (kW)			
	Inst.	Serv.	(kW)	(kW)	(kW)		Nav.	Man.	C y D	Puerto	Nav.	Man.	C y D	Puerto
Bombas de la planta hidráulica	3	2	160	480	320	0.67	0	0	0.7	0.1	0.0	0.0	224.0	32.0
Enchufes para tráileres refrigerados	60	60	15	900	900	1	0.4	0.4	0.4	0	360.0	360.0	360.0	0.0
Ascensores	2	2	22.6	45.2	45.2	1	0.4	0.4	0.6	0.6	18.1	18.1	27.1	27.1
Montacargas proa	1	1	21	21	21	1	0.6	0.6	0.2	0.2	12.6	12.6	4.2	4.2
Montacargas popa	1	1	26.3	26.3	26.3	1	0.4	0.4	0.6	0.6	10.5	10.5	15.8	15.8
TOTAL											401.2	401.2	631.1	79.1



Ropax 4000 TPM

Planta Eléctrica

Equipos de Seguridad	Nº		P. unitaria	P.total instalada	P. en servicio	Kn	Ksr				P. consumida (kW)			
	Inst.	Serv.	(kW)	(kW)	(kW)		Nav.	Man.	C y D	Puerto	Nav.	Man.	C y D	Puerto
Bombas de CI	4	3	26	104	78	0.75	0.15	0.15	1	0	11.7	11.7	78.0	0.0
Bomba CI de emergencia	1	1	31	31	31	1	0.15	0.15	1	0	4.7	4.7	31.0	0.0
Bombas rociadores garajes	3	2	23	69	46	0.67	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0
Bombas rociadores habitación	3	2	23	69	46	0.67	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0
Chigres pescantes botes salvavidas	2	2	15.6	31.2	31.2	1	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0
Chigres pescantes botes de rescate	2	2	7.4	14.8	14.8	1	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0
TOTAL											16.4	16.4	109.0	0.0

Habitación y aire acondicionado	Nº		P. unitaria	P.total instalada	P. en servicio	Kn	Ksr				P. consumida (kW)			
	Inst.	Serv.	(kW)	(kW)	(kW)		Nav.	Man.	C y D	Puerto	Nav.	Man.	C y D	Puerto
Compresores	3	2	250.00	750.00	500.00	0.67	0.6	0.4	0.2	0.2	300.0	200.0	100.0	100.0
Ventiladores Aire acondicionado Sección S1/1	12	8	1.60	19.20	12.80	0.67	0.8	0.8	0.6	0.6	10.2	10.2	7.7	7.7
Ventiladores Aire acondicionado Sección S1/2	4	3	1.20	4.80	3.60	0.75	0.8	0.8	0.6	0.6	2.9	2.9	2.2	2.2
Ventiladores Aire acondicionado Sección S2/1	7	5	1.60	11.20	8.00	0.71	0.8	0.8	0.6	0.6	6.4	6.4	4.8	4.8
Ventiladores Aire acondicionado Sección S2/2	7	5	1.60	11.20	8.00	0.71	0.8	0.8	0.6	0.6	6.4	6.4	4.8	4.8
Ventiladores Aire acondicionado Sección S2/3	3	2	1.50	4.50	3.00	0.67	0.8	0.8	0.6	0.6	2.4	2.4	1.8	1.8
Ventiladores Aire acondicionado Sección S3/1	7	5	1.50	10.50	7.50	0.71	0.8	0.8	0.6	0.6	6.0	6.0	4.5	4.5
Ventiladores Aire acondicionado Sección S3/2	9	6	1.40	12.60	8.40	0.67	0.8	0.8	0.6	0.6	6.7	6.7	5.0	5.0



Ventiladores Aire acondicionado Sección S3/3	6	4	1.40	8.40	5.60	0.67	0.8	0.8	0.6	0.6	4.5	4.5	3.4	3.4
Ventiladores Aire acondicionado Sección S4/1	6	4	1.50	9.00	6.00	0.67	0.8	0.8	0.6	0.6	4.8	4.8	3.6	3.6
Ventiladores Aire acondicionado Sección S4/2	7	5	1.40	9.80	7.00	0.71	0.8	0.8	0.6	0.6	5.6	5.6	4.2	4.2
Ventiladores Aire acondicionado Sección S4/3	4	3	1.60	6.40	4.80	0.75	0.8	0.8	0.6	0.6	3.8	3.8	2.9	2.9
Ventiladores Aire acondicionado Sección S4/4	3	2	1.60	4.80	3.20	0.67	0.8	0.8	0.6	0.6	2.6	2.6	1.9	1.9
Extractores Cocina Seccion S1/1	12	8	1.60	19.20	12.80	0.67	0.8	0.8	0.6	0.6	10.2	10.2	7.7	7.7
Extractores Cocina Seccion S3/2	2	1	0.60	1.20	0.60	0.5	0.8	0.8	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4
Extractores Cocina Seccion S3/3	2	1	0.70	1.40	0.70	0.5	0.8	0.8	0.6	0.6	0.6	0.6	0.4	0.4
Extractores Sala control	2	1	0.60	1.20	0.60	0.5	0.8	0.8	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4
Unidades refrigeración gambuza frigorífica	5	5	25.00	125.00	125.00	1	0.8	0.8	0.6	0.6	100.0	100.0	75.0	75.0
Electrodomésticos de cocina	1	1	150.00	150.00	150.00	1	0.6	0.4	0.2	0.2	90.0	60.0	30.0	30.0
Lavandería	1	1	5.00	5.00	5.00	1	0.2	0.2	0.2	0.2	1.0	1.0	1.0	1.0
Frigoríficos en camarotes y oficinas	1	1	165.00	165.00	165.00	1	0.4	0.4	0.1	0.1	66.0	66.0	16.5	16.5
											631.1	501.1	278.1	278.1



Ropax 4000 TPM

Planta Eléctrica

Alumbrado y Electrónica	Nº		P. unitaria	P.total instalada	P. en servicio	Kn	Ksr				P. consumida (kW)			
	Inst.	Serv.	(kW)	(kW)	(kW)		Nav.	Man.	C y D	Puerto	Nav.	Man.	C y D	Puerto
Equipo de radio principal	1	1	5	5	5	1	0.5	0.5	0.5	0.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Equipos de navegación y comunicaciones	1	1	35	35	35	1	1	1	1	0.2	35.0	35.0	35.0	7.0
Alumbrado cubiertas de carga	1	1	36.8	36.8	36.8	1	1	1	1	1	36.8	36.8	36.8	36.8
Alumbrado espacios de máquinas	1	1	21.6	21.6	21.6	1	1	1	1	1	21.6	21.6	21.6	21.6
Alumbrado espacios pasaje	1	1	23.8	23.8	23.8	1	1	1	1	1	23.8	23.8	23.8	23.8
Alumbrado espacios tripulación	1	1	8.1	8.1	8.1	1	1	1	1	1	8.1	8.1	8.1	8.1
Alumbrado resto de locales	1	1	19	19	19	1	1	1	1	1	19.0	19.0	19.0	19.0
Luces exteriores	1	1	12.6	12.6	12.6	1	1	1	1	1	12.6	12.6	12.6	12.6
Luces de navegación	1	1	1.1	1.1	1.1	1	1	1	1	1	1.1	1.1	1.1	1.1
Alumbrado de emergencia	1	1	86.2	86.2	86.2	1	1	1	1	1	86.2	86.2	86.2	86.2
Sirena	1	1	5	5	5	1	0.2	0.2	0	0	1.0	1.0	0.0	0.0
Automatización	1	1	5	5	5	1	0.5	0.5	0.5	0.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Protección catódica (corrientes impresas)	1	1	9	9	9	1	1	1	1	1	9.0	9.0	9.0	9.0
TOTAL											259.2	259.2	258.2	230.2

**ANEXO 2. Balance eléctrico de emergencia**

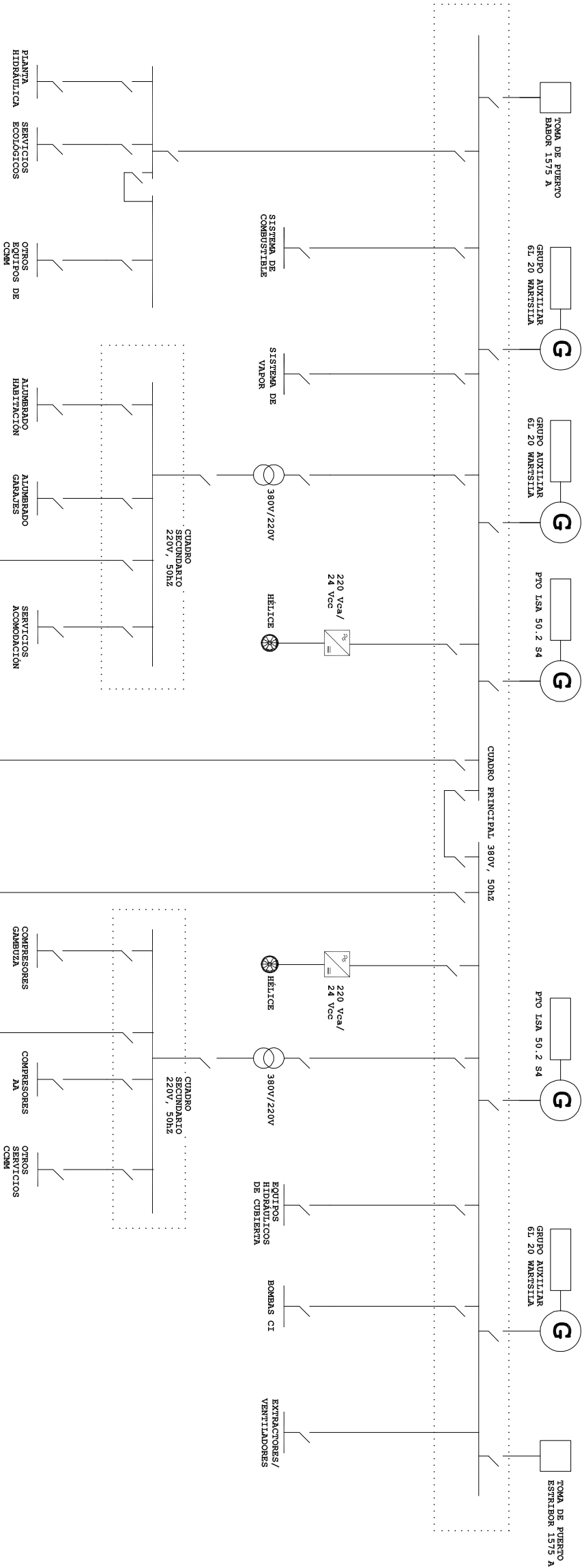
BALANCE ELÉCTRICO DE EMERGENCIA	Nº		P. unitaria (kW)	P.total instalada (kW)	P. en servicio (kW)	Ku	Ksr		P. consumida	
	Inst.	Serv.					Black-out	Emergencia	Black-out	Emergencia
Bombas circulación AD LT	6	4	26.00	156.00	104.00	1.00	0	0.7	0.00	72.80
Bomba circulación AS	4	2	32.00	128.00	64.00	0.50	0	0.3	0.00	19.20
Bombas alimentación de separadoras HFO	2	1	2.60	5.20	2.60	0.50	0	0.3	0.00	0.78
Compresores aire arranque	2	2	7.00	14.00	14.00	1.00	0	0.3	0.00	4.20
Bombas de sentinas	4	3	35.00	140.00	105.00	0.75	0	0.3	0.00	31.50
Bombas servomotor	4	2	30.00	120.00	60.00	0.50	0	1	0.00	60.00
Molinetes	2	2	109.00	218.00	218.00	1.00	0	0.1	0.00	21.80
Vent. Forzada Local servo				12.65	8.43	1.00	0	0.4	0.00	3.37
Vent. Forzada Local de MMAA				57.27	37.71	1.00	0	0.4	0.00	15.09
Vent. Forzada Local del generador de emergencia				1.80	0.90	1.00	0	0.8	0.00	0.72
Ascensores	2	2	22.60	45.20	45.20	1.00	0	0.4	0.00	18.08
Montacargas proa	1	1	7.90	7.90	7.90	1.00	0	0.4	0.00	3.16
Montacargas popa	1	1	15.70	15.70	15.70	1.00	0	0.4	0.00	6.28
Bombas de CI	4	3	26.00	104.00	78.00	0.75	0	0.2	0.00	15.60
Bomba CI de emergencia	1	1	31.00	31.00	31.00	1.00	0	0.2	0.00	6.20
Bombas rociadores garajes	3	2	23.00	69.00	46.00	0.67	0	0.2	0.00	9.20
Bombas rociadores habilitación	3	2	23.00	69.00	46.00	0.67	0	0.2	0.00	9.20
Chigres pescantes botes salvavidas	2	2	15.60	31.20	31.20	1.00	0	0.2	0.00	6.24




Chigres pescantes botes de rescate	2	2	7.40	14.80	14.80	1.00	0	0.2	0.00	2.96
Compresores	3	1	250.00	750	250	0.33	1	1	250.00	250.00
Ventiladores Aire acondicionado Sección S2/3	3	2	1.50	4.50	3.00	0.67	1	1	3.00	3.00
Ventiladores Aire acondicionado Sección S3/3	6	4	1.40	8.40	5.60	0.67	1	1	5.60	5.60
Ventiladores Aire acondicionado Sección S4/3	4	3	1.60	6.40	4.80	0.75	1	1	4.80	4.80
Equipo de radio principal	1	1	5.00	5.00	5.00	1.00	0	0.5	0.00	2.50
Equipos de navegación y comunicaciones	1	1	35.00	35.00	35.00	1.00	1	1	35.00	35.00
Luces exteriores	1	1	12.60	12.60	12.60	1.00	0	1	0.00	12.60
Alumbrado de emergencia	1	1	86.20	86.20	86.20	1.00	1	1	86.20	86.20
Sirena	1	1	5.00	5.00	5.00	1.00	1	1	5.00	5.00
6% Perdidas en sistema de distribución									23.38	40.98
Potencia total (kW)									412.98	752.06
Potencia Aparente (kVA ; $\cos\phi = 0,8$)									516.22	940.08



Anexo 3. Esquema Unifilar





ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS NAVALES

PROYECTO FIN DE CARRERA

TIPO DE BOCHE:
ROPAX 4000 TPM

NÚMERO DE PROYECTO:
PROYECTO 034

DENOMINACIÓN:
ESQUEMA UNIFILAR

FORMATO:
DIN-A3

ESCALA:

PLANO N°:
1/1

TUTOR:
JOSÉ MARÍA RIOLA RODRÍGUEZ

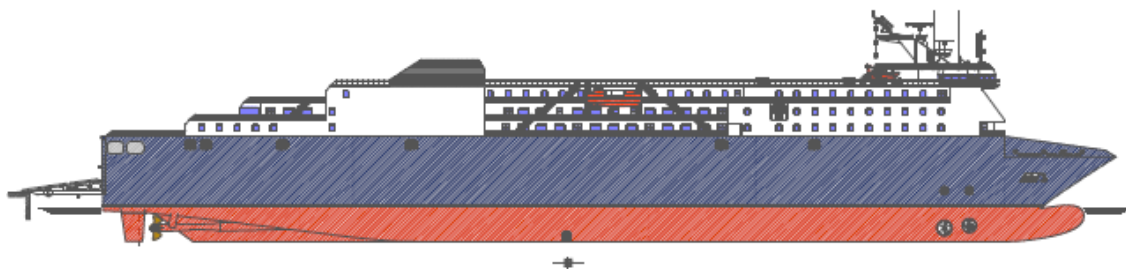
ALUMNO:
FRANCISCO SASTRE GUASCH



Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales

Proyecto Fin de Carrera nº034

ROPAX 4000 TPM



Cuaderno 10

Resistencia Estructural

Tutor:

José María Riola Rodríguez

Alumno:

Francisco Sastre Guasch



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	5
2. CONCEPTOS	6
2.1. Cuaderna maestra	6
2.2. Cubierta resistente	6
2.3. Calado de escantillonado	6
2.4. Coeficientes y parámetros necesarios.	6
2.4.1. Coeficiente de navegación (n).	6
2.4.2. Parámetro de ola (C).	7
2.4.3. Número de Froude (F).	7
2.4.4. Parámetro de movimiento y aceleración (a_B).	7
2.4.5. Parámetro de ola en m (h_W).	7
2.4.6. Parámetro (a_H).	7
2.4.7. Parámetros (A_p , T_p , α_p).	8
2.4.8. Aceleraciones del buque.	8
2.4.9. Valor de referencia del movimiento relativo del buque en m (h_1).	8
2.4.10. Distancia desde la parte alta del atmosférico a la parte alta del compartimento. (d_{AP}).	9
3. CARGAS DE DISEÑO	10
3.1. Presiones del mar	10
3.2. Presiones internas	13
3.2.1. Líquidos.	13
3.2.2. Cargas Rodadas	15
3.2.3. Acomodación	16
3.2.4. Condición de Inundación	17
3.2.5. Condición de pruebas de presión	18
4. TENSIONES	19
4.1. Tensión normal al buque viga	19
4.2. Tensión tangencial al buque viga	20
5. TIPO DE ESTRUCTURA EMPLEADA	21
5.1. Doble fondo	21
5.2. Pantoque	21



5.3. Costados	21
5.4. Cubiertas	21
6. SELECCIÓN DE LOS MATERIALES A EMPLEAR.....	22
7. MOMENTOS FLECTORES Y ESFUERZO CORTANTES	23
7.1. Momentos Flectores en Aguas Tranquilas	23
7.2. Esfuerzos cortantes debidos a la ola	25
8. REQUERIMIENTOS DE LA RESISTENCIA LONGITUDINAL.	27
8.1. Módulo resistente mínimo de la sección maestra.	27
8.2. Momento de inercia de la sección maestra.	27
9. ESCANTILLONADO DE PLANCHAS.	28
9.1. Espesor mínimo requerido (t_{min}).	28
9.2. Espesor mínimo aplicando presiones laterales, t_{pre}	32
9.2.1. Presión Lateral en Estado Intacto	32
9.2.2. Presión Lateral en condiciones de inundación.....	33
9.2.3 Presión en condiciones de pruebas.....	33
9.2.4. Espesor de las planchas que contribuyen con el buque viga en sentido longitudinal	33
9.2.5. Espesor de las planchas que contribuyen con el buque viga en sentido transversal.	34
9.3. Espesor planchas del fondo, doble fondo, pantoque y quilla.	35
9.3.1. Planchas del fondo.	36
9.3.2. Planchas del doble fondo.	37
9.3.3. Planchas del pantoque y de la quilla.	37
9.3.4. Selección de espesores.	37
9.4. Espesor planchas de varengas y vagras del doble fondo	38
9.5. Longitudinales del fondo y del doble fondo.....	39
9.6. Estructuras del costado.....	41
9.6.1. Planchas del costado	41
9.6.2. Cuadernas y bulárcamas	42
9.6.3. Longitudinales	43
9.7. Estructuras de las cubiertas	45
9.7.1. Estructura de las cubiertas de carga rodada	45
9.7.2. Estructura de la cubierta resistente	50



9.7.3. Espesor del resto de cubiertas.	52
10. Comprobación del módulo resistente.....	53
11. Momentos flectores y esfuerzos cortantes para cada situación de carga preliminar	58



1. INTRODUCCIÓN

En el cuaderno de resistencia estructural, vamos a obtener el escantillonado de todos los elementos que conforman la Cuaderna Maestra.

Para ello nos vamos a guiar mediante las reglas y recomendaciones de nuestra sociedad de clasificación, Bureau Veritas, la cual establece unos valores mínimos de espesores e inercias para los elementos estructurales.



2. CONCEPTOS

2.1. Cuaderna maestra

La cuaderna maestra debe ser una cuaderna representativa de la estructura del buque. En nuestro caso, tomamos la **cuaderna #92** como cuaderna maestra.

2.2. Cubierta resistente

La cubierta resistente es la cubierta continua más alta. En nuestro buque proyecto se ha considerado acertado tomar la primera cubierta de pasaje, situada a 18,750m sobre la línea base, como cubierta resistente. Las cubiertas superiores no muestran continuidad a lo largo de toda la manga porque deben disponer de espacio en los costados para las maniobras de evacuación.

2.3. Calado de escantillonado

La estructura del buque se va a determinar para un calado superior al de proyecto, llamado **calado de escantillonado**. Procediendo de este modo, tenemos un margen de error que nos es de utilidad, dado que el peso en rosca y la posición exacta del centro de gravedad no son conocidos hasta que se lleva a cabo la experiencia de estabilidad, una vez construido el buque.

Si cuando el buque ha sido construido el peso en rosca resulta superior al estimado durante el proyecto, puede aumentarse el calado para alcanzar el peso muerto contratado. En esta situación, si la estructura hubiera sido diseñada para trabajar al calado de proyecto, sería necesario reforzar todos los elementos estructurales para que fueran capaces de resistir las sollicitaciones originadas por el nuevo calado, lo que podría suponer un incumplimiento del contrato.

Considerando lo anterior, se decide tomar un calado de escantillonado **200mm mayor** que el calado de proyecto, es decir, **6200mm**. Teniendo en cuenta que se dispone de 35,5 tons/cm de inmersión, esto supone 710 tons de margen para el peso en rosca resultante.

Este calado y su coeficiente de bloque correspondiente son los utilizados en los cálculos de resistencia estructural.

2.4. Coeficientes y parámetros necesarios.

Coeficientes y parámetros necesarios para el cálculo de los elementos estructurales según nuestra sociedad de clasificación, Bureau Veritas.

2.4.1. Coeficiente de navegación (n).

Suponemos que el buque va a tener navegación de altura no restringida, $n = 1$.



2.4.2. Parámetro de ola (C).

$$C = (118 - 0,36L) \frac{L}{1000}$$

$$C = 9,639$$

2.4.3. Número de Froude (F).

$$F = 0,164 \frac{V}{\sqrt{L}}$$

$$F = 0,324$$

2.4.4. Parámetro de movimiento y aceleración (a_B).

$$a_B = n \left(0,76F + 1,875 \frac{h_w}{L} \right)$$

$$a_B = 0,374 \text{ m/s}^2$$

2.4.5. Parámetro de ola en m (h_w).

$$h_w = 11,44 - \left| \frac{L - 250}{110} \right|^3 \text{ for } L < 350\text{m}$$

$$h_w = 11,78 \text{ m.}$$

2.4.6. Parámetro (a_H).

$$a_H = a_B g$$

$$a_H = 3,668 \text{ m/s}^2$$



2.4.7. Parámetros (A_p , T_p , α_p).

Amplitude A_p , in rad	Period T_p , in s	Acceleration α_p , in rad/s ²
$0,328 a_B \left(1,32 - \frac{h_W}{L}\right) \left(\frac{0,6}{C_B}\right)^{0,75}$	$0,575 \sqrt{L}$	$A_p \left(\frac{2\pi}{T_p}\right)^2$

$$\underline{A_p = 0,165} \quad \underline{T_p = 7,564} \quad \underline{\alpha_p = 0,114}$$

2.4.8. Aceleraciones del buque.

Direction	Upright ship condition	Inclined ship condition
X - Longitudinal a_{X1} and a_{X2} in m/s ²	$a_{X1} = \sqrt{a_{SU}^2 + [A_p g + \alpha_p (z - T_1)]^2}$	$a_{X2} = 0$
Y - Transverse a_{Y1} and a_{Y2} in m/s ²	$a_{Y1} = 0$	$a_{Y2} = \sqrt{a_{SW}^2 + [A_R g + \alpha_R (z - T_1)]^2 + \alpha_\phi^2 K_X L^2}$
Z - Vertical a_{Z1} and a_{Z2} in m/s ²	$a_{Z1} = \sqrt{a_H^2 + \alpha_\phi^2 K_X L^2}$	$a_{Z2} = \sqrt{0,25 a_H^2 + \alpha_R^2 Y^2}$
<p>Note 1:</p> $K_X = 1,2 \left(\frac{x}{L}\right)^2 - 1,1 \frac{x}{L} + 0,2 \text{ without being taken less than } 0,018$		

2.4.9. Valor de referencia del movimiento relativo del buque en m (h_1).

Según Tabla 3, para la zona central del buque:

$$(0,3L \leq x \leq 0,7L) \quad h_1 = 0,42 n C (CB + 0,7) \quad \text{no siendo mayor que } (D - 0,9T)$$



2.4.10. Distancia desde la parte alta del atmosférico a la parte alta del compartimento. (d_{AP}).

Dispondremos los atmosféricos en la 1ª Cta de Pasaje a 18,75 m sobre L.B. De acuerdo con el Convenio Internacional sobre Líneas de Carga la altura del atmosférico sobre la cubierta de francobordo será de 760 mm.

$$d_{AP} = 18,75 + 0,76 = 19,51\text{m.}$$



3. CARGAS DE DISEÑO.

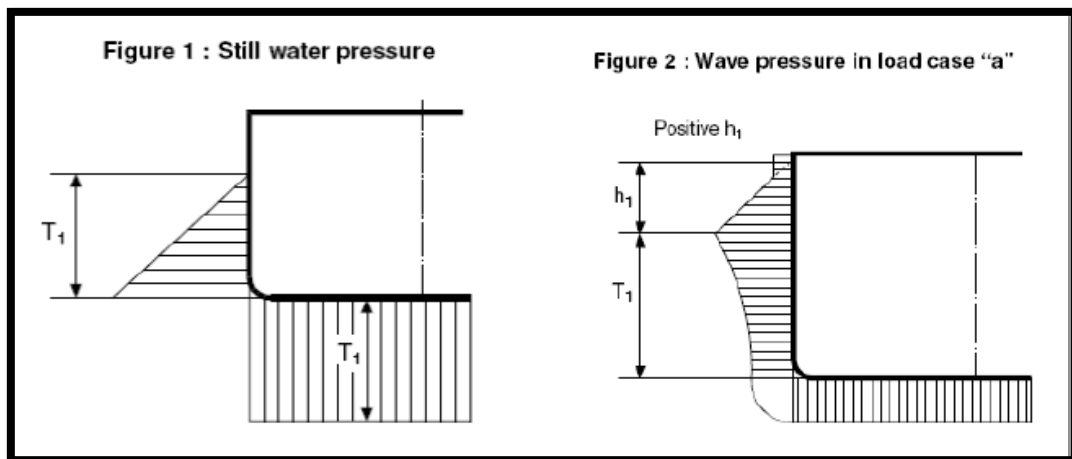
Se hará el cálculo de las cargas de diseño según: Parte B, Capítulo 5. El Reglamento nos da dos tipos de cargas de Diseño:

- Presiones ejercidas por el mar.
- Presiones Internas ejercidas por los líquidos, la acomodación, la prueba de los tanques, la carga (en nuestro caso no llevamos carga que ejerza presión sobre el costado del buque), etc.

3.1. Presiones del mar.

Según la Parte B, Capítulo 5, Sección 5:

Las presiones debidas al agua de mar son de dos tipos: las de aguas tranquilas (P_s) y las debidas a olas (P_w), tal y como se ve en las figuras.



Podemos calcular las presiones debidas al agua tranquila con la siguiente tabla facilitada por Bureau Veritas. Estas presiones varían según la zona vertical del costado:

Location	Still water pressure p_s , in kN/m^2
Points at and below the waterline ($z \leq T_1$)	$\rho g (T_1 - z)$
Points above the waterline ($z > T_1$)	0



Por otra parte, podemos realizar el cálculo de las presiones debidas a las olas con las siguientes tablas facilitadas por Bureau Veritas. Estas presiones varían según la zona vertical del costado y por el tipo de cubierta:

Location	Wave pressure pw, in kN/m²	
	Crest	Trough
Bottom and sides below the waterline ($z \leq T_1$)	$\rho g h e^{\frac{-2\pi(T_1 - z)}{L}}$	$-\rho g h e^{\frac{-2\pi(T_1 - z)}{L}}$ without being taken less than $\rho g (z - T_1)$
Sides above the waterline ($z > T_1$)	$\rho g (T_1 + h - z)$ without being taken, for case "a" only, less than $0,15 L$	0,0

Note 1:

$h = C_{F1} h_1$

C_{F1} : Combination factor, to be taken equal to:

- $C_{F1} = 1,0$ for load case "a"
- $C_{F1} = 0,5$ for load case "b".

Para las cubiertas expuestas el reglamento de Bureau Veritas facilita esta tabla;

Location	Wave pressure pw, in kN/m²	
	Crest	Through
$0 \leq x \leq 0,5 L$	$17,5 n \varphi_1 \varphi_2$	0
$0,5 L < x < 0,75 L$	$\left\{ 17,5 + \left[\frac{19,6 \sqrt{H_F} - 17,5}{0,25} \right] \left(\frac{x}{L} - 0,5 \right) \right\} n \varphi_1 \varphi_2$	0
$0,75 L \leq x \leq L$	$19,6 n \varphi_1 \varphi_2 \sqrt{H}$	0

Note 1:

$$H = C_{F1} \left[2,66 \left(\frac{x}{L} - 0,7 \right)^2 + 0,14 \right] \sqrt{\frac{VL}{C_B}} - (z - T_1) \quad \text{without being taken less than } 0,8$$

φ_1 : Coefficient defined in **Tab 2**

φ_2 : Coefficient taken equal to:

- $\varphi_2 = 1$ if $L \geq 120$ m
- $\varphi_2 = L/120$ if $L < 120$ m

H_F : Value of H calculated at $x = 0,75 L$

C_{F1} : Combination factor, to be taken equal to:

- $C_{F1} = 1,0$ for load case "a"
- $C_{F1} = 0,5$ for load case "b"

V: Maximum ahead service speed, in knots, to be taken not less than 13 knots.



Exposed deck location	ϕ_1
Freeboard deck	1,00
Superstructure deck	0,75
1st tier of deckhouse	0,56
2nd tier of deckhouse	0,42
3rd tier of deckhouse	0,32
4th tier of deckhouse	0,25
5th tier of deckhouse	0,20
6th tier of deckhouse	0,15
7th tier of deckhouse and above	0,10

Por lo cual tenemos tres procedimientos de cálculo diferentes de las presiones del mar, según estemos:

- por debajo del calado, $z < T$
- por encima del calado, $z > T$
- la cubierta sea cubierta expuesta, “exposed deck”. Para dichos casos, la Sociedad de clasificación opta por escoger el valor de la presión P_s que ejerce la carga que transportemos. Debido a que la carga que vamos a transportar no ejerce presión sobre las planchas del costado, se ha calculado para el valor mínimo que nos proporciona la sociedad de clasificación, el cual es $(10 \phi_1 \phi_2)$.

Por otra parte, para las presiones ejercidas a la altura de las cubiertas, se ha calculado los valores a la mitad de la altura entre cubiertas, para hallar las presiones que se ejercen sobre cuadernas y bulárcamas. No se ha considerado como “exposed deck” este caso.



Presiones del mar (Parte B, Capítulo 5, Sección 5)					
Punto de carga para la presión lateral	Z	posición Z	Coeficiente ϕ	Ps	Pw
Fondo	0.00	<T	-	62.34	40.47
Doble fondo	2.00	<T	-	42.23	43.84
Cubierta principal carga	9.00	>T	-	0	25.96
Cubierta superior carga	15.10	>T	-	0	25.96
Cubierta pasajeros 1	-	Cub. Expuesta	0.75	7.50	13.13
Cubierta pasajeros 2	-	Cub. Expuesta	0.56	5.60	9.80
Cubierta tripulación 1	-	Cub. Expuesta	0.42	4.20	7.35
Cubierta tripulación 2	-	Cub. Expuesta	0.32	3.20	5.60
Entre fondo y doble fondo	1.00	<T	-	50.23	42.27
Entre doble fondo y cub. Principal carga	5.50	<T	-	5.02	49.77
Entre cub. Principal carga y cub. Superior carga	12.05	>T	-	0	25.96
Entre cub. Superior carga y cub. Pax 1	16.93	>T	-	0	25.96
Entre cub. Pax 1 y cub. Pax 2	20.20	>T	-	0	25.96
Entre cub. Pax 2 y cub. trip 1	23.20	>T	-	0	25.96
Entre cub. trip 1 y cub. trip 2	26.20	>T	-	0	25.96

3.2. Presiones internas.

Según Parte B, Capítulo 5, Sección 6 del Bureau Veritas, son las presiones internas debidas a las cargas líquidas, pruebas de tanques, etc.

El Reglamento distingue los siguientes tipos de cargas internas:

- Líquidos
- Presiones en tanques parcialmente llenos que transportan carga líquida o lastre
- Cargas secas a granel
- Cargas secas uniformes
- Cargas secas unitarias
- Cargas rodadas
- Cargas en acomodación
- Cargas de la maquinaria
- Cargas de espacios sujetos a sufrir inundación
- Cargas de espacios sujetos a pruebas de presión

3.2.1. Líquidos.

Son las cargas debidas a las presiones que ejercen los líquidos en los tanques. El doble fondo llevará cargas líquidas, principalmente lastre. Para dichas cargas, las presiones internas se calculan como sigue (*se escogerá el valor más alto en cada caso*):



$$p_s = \rho_L g (z_L - z)$$

$$p_s = \rho_L g (z_{TOP} - z) + 100 p_{PV}$$

In no case is it to be taken, in kN/m², less than:

$$p_s = \rho_L g \left(\frac{0,8L_1}{420 - L_1} \right)$$

No hay válvulas de seguridad para los tanques considerados, tienen atmosféricos y por tanto $p_{PV}=0$. Por otra parte, para el cálculo de z_L , Bureau Veritas nos facilita la siguiente fórmula;

$$z_L = z_{TOP} + 0,5(z_{AP} - z_{TOP}) = 2 + 0,5(18,75 - 2) = 10,375 \text{ m.}$$

Punto z de cálculo. Consideramos los siguientes puntos a calcular:

- Fondo: $z = 0.00 \text{ m.}$
- Doble fondo: $z = 2.00 \text{ m.}$
- Media luz: $z = 1.00 \text{ m.}$ *(para el cálculo de refuerzos de vagras y varengas.)*

Líquidos	Fondo	Plano intermedio	Doble fondo
	$z = 0.00 \text{ m.}$	$z = 1.00 \text{ m.}$	$z = 2.00 \text{ m.}$
$P_s = \rho_L g (z_L - z)$	104.32	94.27	84.21
$P_s = \rho_L g (z_{TOP} - z) + 100 p_{PV}$	20.11	10.06	0
$P_s = \rho_L g (0,8L/420 - L)$	5.64	5.64	5.64



3.2.2. Cargas Rodadas

Son cargas transmitidas a través de las ruedas de la carga rodada a la estructura del buque, se obtienen mediante la siguiente tabla:

Ship condition	Load case	Still water force F_s and inertial force F_w , in kN
Still water (1) (2)		$F_s = M g$
Upright (positive heave motion) (1)	"a"	No inertial force
	"b"	$F_{w,z} = \alpha M a_{z1}$ in z direction
Inclined (negative roll angle) (2)	"c"	$F_{w,y} = M C_{FAA} a_{y2}$ in y direction
	"d"	$F_{w,z} = \alpha M C_{FAA} a_{z2}$ in z direction
Harbour		$F_{w,x} = 0,035 M g$ in x direction $F_{w,y} = 0,087 M g$ in y direction $F_{w,z} = 0,100 M g$ in z direction

(1) This condition defines the force, applied by one wheel, to be considered for the determination of scantlings of plating, ordinary stiffeners and primary supporting members, as defined in Part B, Chapter 7, where:

α : Coefficient taken equal to:

- 0,5 in general
- 1,0 for landing gears of trailers

M : Mass, in t, taken equal to

$$M = \frac{Q_A}{n_w}$$

Q_A : Axle load, in t. For fork-lift trucks, the value of Q_A is to be taken equal to the total mass of the vehicle, including that of the cargo handled, applied to one axle only.

n_w : Number of wheels for the axle considered.

(2) This condition is to be considered for the racking analysis of ships with the service notation **ro-ro cargo ship** or **ro-ro passenger ship**, as defined in Ch 7, App 1, with M taken equal to the mass, in t, of wheeled loads located on the structural member under consideration.

Las cargas sobre las cubiertas de los garajes a razón de trailers de 45T distribuidos en tres ejes de 15T, con doble rueda en los ejes traseros. Además las cubiertas se consideran a razón de 2 T/m². Por tanto, $n_w = n^\circ$ de ruedas por eje considerado= 8 ruedas y Q_A =carga de los ejes de las ruedas, tomamos $Q_A=15$ T por eje.

Carga F_s (Cubiertas Rodadas)			
Q_A (Ton.)	n_w	M (Ton.)	F_s (kN)
15	8	1,875	18,4

Carga F_w (Cubiertas Rodadas)			
Q_A (Ton.)	n_w	a_{z1} (m/s ²)	F_w (kN)
15	8	4,52	3,39



3.2.3. Acomodación

Son las cargas ejercidas en cubiertas de acomodación por el peso de sus elementos. Y vienen dadas por la siguiente tabla:

Ship condition	Load case	Still water pressure p_s and inertial pressure p_w , in kN/m^2
Still water		The value of p_s is defined in Tab 11 depending on the type of the accommodation compartment.
Upright (positive heave motion)	"a"	No inertial pressure
	"b"	$p_w = p_s \frac{a_{z1}}{g}$
Inclined	"c"	The inertial pressure transmitted to the deck structures in inclined condition may generally be disregarded. Specific cases in which this simplification is not deemed permissible by the Society are considered individually.
	"d"	

Según la cubierta escogeremos uno de los cuatro tipos de compartimentos de acomodación indicados en la siguiente tabla:

Type of accommodation compartment	p_s , in kN/m^2
Large public spaces, such as: restaurants, halls, cinemas, lounges	5,0
Large rooms, such as: <ul style="list-style-type: none"> rooms with fixed furniture games and hobbies rooms, hospitals 	3,0
Cabins	3,0
Other compartments	2,5

- Primera cubierta pasaje: restaurante comedor, espacios públicos ($P_s = 5,0 \text{ kN/m}^2$)
- Segunda cubierta pasaje: Salas de butacas ($P_s = 5,0 \text{ kN/m}^2$)
- Primera cubierta tripulación: Camarotes de tripulación ($P_s = 3,0 \text{ kN/m}^2$)
- Segunda cubierta tripulación: Puente de mando y oficinas ($P_s = 2,5 \text{ kN/m}^2$)

Para la Cubierta Inferior (Doble Fondo), Cubierta Principal Carga, Cubierta Superior Carga y Techo Puente no es de aplicación.

**3.2.4. Condición de Inundación.**

Para espacios susceptibles de sufrir inundación. En nuestro caso son los espacios de Doble Fondo y hasta la cubierta principal. Para el cálculo de las presiones de inundación, suponemos que el nivel llegaría hasta la línea de margen, la cual está 76 mm por debajo de la cubierta de compartimentado.

$$Z_F = 9,00 - 0,076 = 8,924 \text{ m.}$$

Las fórmulas a emplear vienen dadas según la siguiente tabla:

Still water pressure p_{SF} , in kN/m^2	Inertial pressure p_{WF} , in kN/m^2
<ul style="list-style-type: none"> Compartment located below bulkhead deck: $\rho g (z_F - z)$ without being taken less than $0,4 g d_0$ Compartment located immediately above the bulkhead deck: $0,32 g d_0$ 	<ul style="list-style-type: none"> Compartment located below bulkhead deck: $0,6 \rho a_{z1} (z_F - z)$ without being taken less than $0,4 g d_0$ Compartment located immediately above the bulkhead deck: $0,32 g d_0$
Note 1 : z_F : Z co-ordinate, in m, of the bulkhead deck.	

Realizaremos dichos cálculos para;

- El doble fondo; $z = 2,0 \text{ m}$
- Media luz entre Doble Fondo y Cubierta Principal Carga; $z = 5.5 \text{ m}$ para aplicar posteriormente al cálculo de cuadernas y bulárcamas.
- Cubierta Principal Carga; $z = 9,00 \text{ m}$. Es el límite hasta el que llega la inundación. Por tanto, el valor de las ps ha de ser 0. Pero el reglamento obliga a tomar como valor mínimo "0,4gd₀".
- $a_{z1} = 4,52 \text{ m/s}^2$

Inundación P_{SF}	Doble Fondo	Plano intermedio	Cubierta principal
	$z = 2.00 \text{ m.}$	$z = 5.50 \text{ m.}$	$z = 9.00 \text{ m.}$
$P_s = \rho g (z_F - z)$	70,39	35.19	0
$P_s = 0.4gd_0$	9.42	9.42	9.42

Inundación P_{WF}	Doble Fondo	Plano intermedio	Cubierta principal
	$z = 2.00 \text{ m.}$	$z = 5.50 \text{ m.}$	$z = 9.00 \text{ m.}$
$P_s = 0.6 \rho a_{z1} (z_F - z)$	19,46	9,73	0
$P_s = 0.4gd_0$	9.42	9.42	9.42



3.2.5. Condición de pruebas de presión.

Para los tanques sujetos a pruebas de presión. Hacemos el cálculo para:

- Fondo; $z = 0$ m.
- Doble Fondo; $z = 2,0$ m.
- Media luz; $z = 1,0$ m.

La presión inercial se calcula según la siguiente tabla:

Compartment or structure to be tested	Still water pressure p_{ST} , in kN/m^2
Double bottom tanks	<p>The greater of the following:</p> $p_{ST} = 10 [(z_{TOP} - z) + d_{AP}]$ $p_{ST} = 10 (z_{ml} - z)$ <p>where:</p> $z_{ml} : \quad Z \text{ co-ordinate, in m, of the margin line}$
Double side tanks, fore and after peaks used as tank, cofferdams	<p>The greater of the following:</p> $p_{ST} = 10 [(z_{TOP} - z) + d_{AP}]$ $p_{ST} = 10 [(z_{TOP} - z) + 2,4]$
Tank bulkheads, deep tanks, fuel oil bunkers	<p>The greater of the following:</p> $p_{ST} = 10 [(z_{TOP} - z) + d_{AP}]$ $p_{ST} = 10 [(z_{TOP} - z) + 2,4]$ $p_{ST} = 10 [(z_{TOP} - z) + 10 p_{PV}]$

Como vemos, no se tiene en cuenta la densidad del líquido del tanque, ya que la prueba de tanques es independiente del mismo.

Pruebas de presión	Fondo	Plano intermedio	Doble fondo
	$z = 0.00$ m.	$z = 1.00$ m.	$z = 2.00$ m.
$p_{ST} = 10 [(z_{TOP} - z) + d_{AP}]$	215.1	205.1	195.1
$p_{ST} = 10 (z_{ml} - z)$	62	52	42



4. TENSIONES

4.1. Tensión normal al buque viga

Es la tensión σ_{x1} que se obtiene como sigue:

- Para planchas que contribuyen longitudinalmente con el buque viga

$$\sigma_{x1} = \gamma_{s1} \sigma_{s1} + \gamma_{w1} (C_{FV} \sigma_{wv1} + C_{FH} \sigma_{wh1} + C_{F\Omega} \sigma_{\Omega})$$

Con:

- $\sigma_{s1}, \sigma_{wv1}, \sigma_{wh1}$: Presiones normales al buque viga en N/mm², definidas en la tabla siguiente:

Table 3 : Hull girder normal stresses

Condition	σ_{S1} , in N/mm ² (1)	σ_{wv1} , in N/mm ²	σ_{wh1} , in N/mm ²
$\frac{ \gamma_{S1}M_{SW,S} + 0,625\gamma_{W1}C_{FV}M_{WV,S} }{\gamma_{S1}M_{SW,H} + 0,625\gamma_{W1}C_{FV}M_{WV,H}} \geq 1$	$\left \frac{M_{SW,S}}{I_y}(z - N) \right 10^{-3}$	$\left \frac{0,625F_D M_{WV,S}}{I_y}(z - N) \right 10^{-3}$	$\left \frac{0,625M_{WH}}{I_z}y \right 10^{-3}$
$\frac{ \gamma_{S1}M_{SW,S} + 0,625\gamma_{W1}C_{FV}M_{WV,S} }{\gamma_{S1}M_{SW,H} + 0,625\gamma_{W1}C_{FV}M_{WV,H}} < 1$	$\left \frac{M_{SW,H}}{I_y}(z - N) \right 10^{-3}$	$\left \frac{0,625M_{WV,H}}{I_y}(z - N) \right 10^{-3}$	
(1) When the ship in still water is always in hogging condition, $M_{SW,S}$ is to be taken equal to 0. Note 1: F_D : Coefficient defined in Ch 5, Sec 2, [4].			

- σ_{Ω} : Valor absoluto de la presión, en N/mm², inducida por el momento torsor $0,625 M_{WT}$ y obtenido a través del análisis por cálculo directo basado en un modelo estructural definido en el Capítulo 6 sección 1.
- $C_{FV}, C_{FH}, C_{F\Omega}$: Factores definidos en la tabla siguiente:

Table 4 : Combination factors C_{FV} , C_{FH} and $C_{F\Omega}$

Load case	C_{FV}	C_{FH}	$C_{F\Omega}$
"a"	1,0	0	0
"b"	1,0	0	0
"c"	0,4	1,0	1,0
"d"	0,4	1,0	0

- Para planchas que no contribuyen longitudinalmente con el buque viga:

$$\sigma_{x1} = 0$$



4.2. Tensión tangencial al buque viga

Son tensiones debidas a cargas laterales y se obtienen con la expresión:

$$\tau_1 = \gamma_{s1} \tau_{s1} + 0,625 C_{FV} \gamma_{W1} \tau_{W1}$$

Donde:

- τ_{s1} y τ_{W1} : Valor absoluto de la tensión tangencial en N/mm², inducida por la fuerza máxima vertical , cuyo valor viene dado por la tabla 5 que se muestra a continuación.

Structural element	τ_{s1}, τ_{W1} in N/mm ²
Bottom, inner bottom and decks (excluding possible longitudinal sloping plates)	0
Bilge, side, inner side and longitudinal bulkheads (including possible longitudinal sloping plates):	
• $0 \leq z \leq 0,25 D$	$\tau_0 \left(0,5 + 2 \frac{z}{D} \right)$
• $0,25 D < z \leq 0,75 D$	τ_0
• $0,75 D < z \leq D$	$\tau_0 \left(2,5 - 2 \frac{z}{D} \right)$
Note 1 : $\tau_0 = \frac{47}{k} \left\{ 1 - \frac{6,3}{\sqrt{L_1}} \right\} \text{ N/mm}^2$	



5. TIPO DE ESTRUCTURA EMPLEADA

5.1. Doble fondo

EL doble fondo tendrá estructura longitudinal para responder adecuadamente a la flexión del buque-viga y para facilitar la revisión de los tanques. Sus elementos primarios estructurales son vagras y varengas.

Las varengas son planchas transversales y se situarán cada 4 claras de cuadernas, coincidiendo con una bulárcama, es decir, cada 3200mm. Cuando coincidan con un mamparo estanco serán estancas, y aligeradas en caso contrario.

Las vagras son planchas situadas en sentido longitudinal. Serán situadas coincidiendo con los mamparos longitudinales de los tanques dispuestos en el doble fondo. Dependiendo de si coinciden o no con un mamparo estanco irán aligeradas o no.

La estructura secundaria estará compuesta por los longitudinales de refuerzo de las planchas de fondo y doble fondo.

5.2. Pantoque

En esta zona se ha decidido optar por una estructura transversal para evitar los problemas que supondrían los refuerzos longitudinales, dado que estos deberían seguir el afinamiento de formas a proa.

5.3. Costados

Como en el caso anterior, el uso de elementos longitudinales se ve condicionado por las formas.

Debido a ello se ha optado por una estructura transversal hasta la cubierta principal. Los elementos primarios serán los palmejares, dispuestos longitudinalmente, que irán apoyados en los mamparos. La estructura secundaria la compondrán las cuadernas (cada 800mm), y las bulárcamas (cada 3200mm).

Por encima de la cubierta principal se utilizará estructura longitudinal, pues desaparece el problema de las formas y esta disposición facilita la construcción de ventanas y aberturas en las cubiertas de habilitación.

5.4. Cubiertas

La estructura seleccionada será del tipo longitudinal, porque ofrece un comportamiento muy efectivo frente a la flexión del buque-viga, y porque además facilitará el tendido de tuberías, conductos de aire acondicionado y el cableado eléctrico.

La estructura primaria está formada por los baos reforzados, que estarán soportados en ocasiones por puntales, y la secundaria, por los longitudinales.

Los baos proporcionan apoyo a los cables, tuberías y conductos que van por los techos. Existirán además esloras, que permitirán distribuir las cargas de los baos.



6. SELECCIÓN DE LOS MATERIALES A EMPLEAR

En primera instancia el único material a considerar será el acero. Aunque utilizar aluminio en la superestructura supondría un ahorro de peso, las complicaciones que conlleva su soldadura con el acero o la posibilidad de aluminotermia en caso de incendio, lo que obliga a aislarlo convenientemente, desechan por ahora esa posibilidad.

El reglamento de Bureau Veritas proporciona una relación de los diferentes tipos de acero por resistencia y grado, viniendo determinado el tipo a utilizar dependiendo de la categoría de la parte de la estructura y del espesor de chapa requerido.

La decisión del acero a seleccionar corresponde al proyectista. Este deberá tener en cuenta las ventajas e inconvenientes que reporta utilizar aceros de alta resistencia. Si bien permiten ahorrar hasta un 30% del peso, suponen:

- Un mayor coste.
- Menores espesores, lo que supone unas flechas mayores en comparación con el acero normal, y que el porcentaje del espesor que debe dejarse para prevenir pérdidas por corrosión es mayor que en el caso de otros aceros de menor resistencia.
- La necesidad de una soldadura más cuidadosa.
- La posibilidad de no encontrar planchas del material requerido en algún lugar del mundo donde surja la necesidad.

Considerando estos inconvenientes, se decide optar por hacer uso del acero NV-NS de 235 N/mm² grado A.



7. MOMENTOS FLECTORES Y ESFUERZO CORTANTES

7.1. Momentos Flectores en Aguas Tranquilas

De acuerdo con la Sociedad de Clasificación, Bureau Veritas, en su “Parte B, Capítulo 5, Sección 2”, los momentos flectores en aguas tranquilas no tomarán un valor menor que:

- Condiciones de Quebranto:

$$M_{SWM,H} = 175 n_1 CL^2 B (C_B + 0,7) 10^{-3} - M_{WV,H}$$

- Condiciones de Arrufo:

$$M_{SWM,S} = 175 n_1 CL^2 B (C_B + 0,7) 10^{-3} + M_{WV,S}$$

Donde $M_{SW,H}$ y $M_{WV,S}$, son los momentos flectores debidos a la ola en quebranto y arrufo respectivamente.

Según el reglamento del Bureau Veritas, el valor que toman estos momentos flectores debidos a la ola son:

- Condiciones de quebranto:

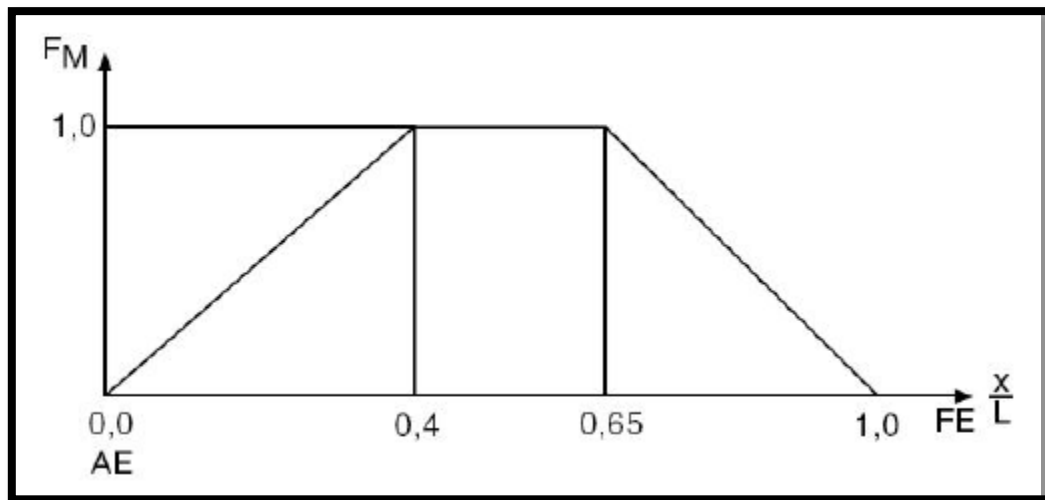
$$M_{WV,H} = 190 F_M n CL^2 B C_B 10^{-3}$$

- Condiciones de Arrufo:

$$M_{WV,S} = -110 F_M n CL^2 B (C_B + 0,7) 10^{-3}$$

Donde F_M toma el valor dado en la siguiente tabla:

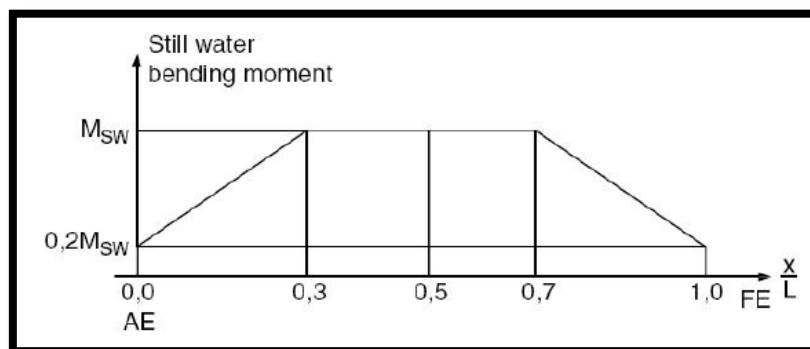
Hull transverse section location	Distribution factor F_M
$0 \leq x < 0,4L$	$2,5 \frac{x}{L}$
$0,4L \leq x \leq 0,65L$	1
$0,65L < x \leq L$	$2,86 \left(1 - \frac{x}{L}\right)$



En las expresiones de los momentos flectores, los distintos factores que aparecen, toman los valores:

- n_1, n : toman el valor " 1", al tener nuestro buque la notación de navegación en aguas no restringidas.
- $C = 10,75 - ((300-L)/100)1,5 = 8,85$, para $(90m \leq L \leq 300m)$.
- $L = 173,05$ m, donde se ha tomado la eslora L según definición del Bureau Veritas, es decir, como la distancia, en metros, medida a nivel de la flotación correspondiente al francobordo de verano, entre la cara de proa de la roda y la cara de popa del codaste, o al eje de la mecha del timón si no existe codaste popel.
- $B = 25$ m.
- $T =$ calado de escantilonado $= 6,2$ m.
- $C_B = \text{Desplazamiento}(T)/1,025 \times L \times B \times T = 0,545$. Con el valor de L el definido anteriormente.

Presentamos a continuación la distribución de momento flector en aguas tranquilas según Bureau Veritas.



Según las expresiones indicadas anteriormente, los valores máximos de los momentos flectores debidos a la ola serán:



$$M_{WV,H} = 190 F_M n CL^2 B C_B 10^{-3} \dots\dots\dots M_{WV,H} = 686083 \text{ kNm}$$

$$M_{WV,S} = -110 F_M n CL^2 B (C_B + 0,7) 10^{-3} \dots\dots\dots M_{WV,S} = -907379 \text{ kNm}$$

Por lo tanto los máximos momentos flectores en aguas tranquilas toman los valores:

$$M_{SWM,H} = 175 n_1 CL^2 B (C_B + 0,7) 10^{-3} - M_{WV,H} \dots\dots\dots M_{SWM,H} = 757474 \text{ kNm}$$

$$M_{SWM,S} = 175 n_1 CL^2 B (C_B + 0,7) 10^{-3} - M_{WV,S} \dots\dots\dots M_{SWM,S} = 536178 \text{ kNm}$$

El momento flector máximo que puede soportar la cuaderna maestra en aguas tranquilas es de 757474 kNm en la condición de quebranto, que es en la que normalmente trabaja este tipo de buques. En general, el buque se diseña con unas condiciones de carga para las que, en aguas tranquilas, la estructura funciona con condición de quebranto y no de arrufo, por lo que el momento total de quebranto será la suma de los momentos en quebranto en aguas tranquilas y el debido a ola, tomando un valor de 1443557 kNm. El momento total en arrufo será solo el momento de arrufo debido a la ola, ya que el buque en ninguna condición de carga funciona en condición de arrufo, tomando un valor de 907379 kNm.

7.2. Esfuerzos cortantes debidos a la ola

El esfuerzo cortante debido a la ola viene dado por la expresión:

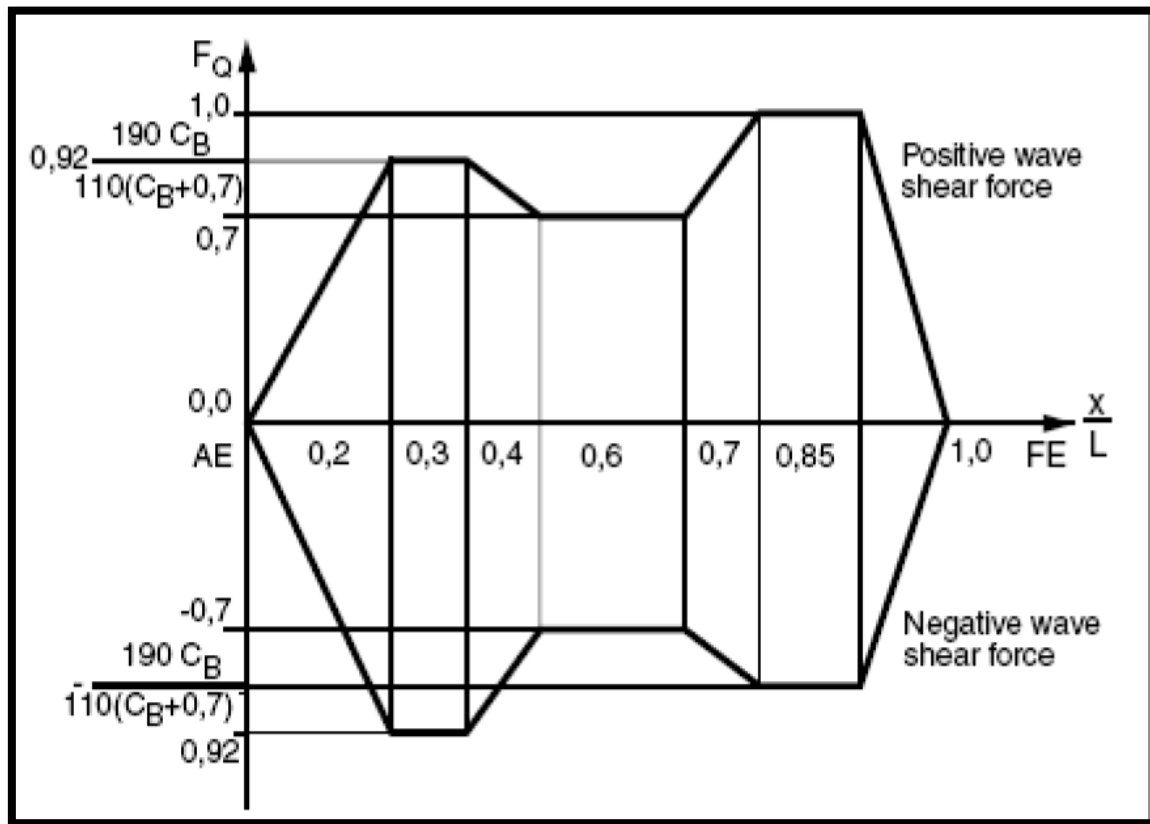
$$Q_{WV} = 30 F_Q n C L B (C_B + 0,7) 10^{-2}$$

Donde F_Q es un factor que toma el valor dado en la siguiente tabla, según la posición de la sección transversal en la que nos encontremos:

Hull transverse section location	Distribution factor F_Q	
	Positive wave shear force	Negative wave shear force
$0 \leq x < 0,2L$	$4,6 A \frac{x}{L}$	$-4,6 \frac{x}{L}$
$0,2L \leq x \leq 0,3L$	$0,92A$	$-0,92$
$0,3L < x < 0,4L$	$(9,2A - 7) \left(0,4 - \frac{x}{L}\right) + 0,7$	$-2,2 \left(0,4 - \frac{x}{L}\right) - 0,7$
$0,4L \leq x \leq 0,6L$	$0,7$	$-0,7$
$0,6L < x < 0,7L$	$3 \left(\frac{x}{L} - 0,6\right) + 0,7$	$-(10A - 7) \left(\frac{x}{L} - 0,6\right) - 0,7$
$0,7L \leq x \leq 0,85L$	1	$-A$
$0,85L < x \leq L$	$6,67 \left(1 - \frac{x}{L}\right)$	$-6,67A \left(1 - \frac{x}{L}\right)$
Note 1: $A = \frac{190C_B}{110(C_B + 0,7)}$		



En la siguiente gráfica podemos ver la distribución del factor F_Q



En la cuaderna maestra el valor de F_Q es;

- $F_Q=0,7$

Y el valor de la fuerza cortante de la ola será:

$$Q_{WV}= 10010 \text{ KN}$$

Pudiendo tomar valor positivo o negativo según la disposición de la ola. La fuerza cortante máxima admisible será la suma de la máxima cortante admisible en aguas tranquilas más la cortante de la ola.



8. REQUERIMIENTOS DE LA RESISTENCIA LONGITUDINAL.

8.1. Módulo resistente mínimo de la sección maestra.

De acuerdo con el reglamento del Bureau Veritas, el valor mínimo del módulo resistente es:

$$Z_{R,MIN}=n_1 C L^2 B (C_B + 0,7) k 10^{-6}$$

Con $n_1=1$ y $k=1$, donde k es un factor que depende del material empleado. Por tanto se obtendrá que:

$$Z_{R,MIN}=C L^2 B (C_B + 0,7) 10^{-6}$$

$$Z_{R,MIN}=8,25 \text{ m}^3$$

8.2. Momento de inercia de la sección maestra.

El valor del mínimo momento de inercia es, en la sección media, de acuerdo con el Bureau Veritas:

$$I_{YR}=3 Z_{R,MIN} L 10^{-2}$$

$$I_{YR}= 42,82 \text{ m}^4$$



9. ESCANTILLONADO DE PLANCHAS.

Se hará según: Parte B, Capítulo 7. La Sociedad de Clasificación da dos tipos de espesores a calcular. Se escogerá el espesor mayor. Estos son:

- Espesor mínimo requerido, t_{\min} .
- Espesor requerido aplicando presiones laterales, t_{pre} .

Veamos las fórmulas aplicables a cada caso.

9.1. Espesor mínimo requerido (t_{\min}).

El reglamento da un espesor mínimo requerido según la siguiente tabla:

Plating	Minimum net thickness
Keel	$3,8 + 0,040 L k^{1/2} + 4,5 s$
Bottom	
• longitudinal framing	$1,9 + 0,032 L k^{1/2} + 4,5 s$
• transverse framing	$2,8 + 0,032 L k^{1/2} + 4,5 s$
Inner bottom	
• outside the engine room (1)	$1,9 + 0,024 L k^{1/2} + 4,5 s$
• engine room	$3,0 + 0,024 L k^{1/2} + 4,5 s$



Side	
<ul style="list-style-type: none"> below freeboard deck (1) 	$2,1 + 0,031 L k^{1/2} + 4,5 s$
<ul style="list-style-type: none"> between freeboard deck and strength deck 	$2,1 + 0,013 L k^{1/2} + 4,5 s$
Inner side	
<ul style="list-style-type: none"> $L < 120 \text{ m}$ 	$1,7 + 0,013 L k^{1/2} + 4,5 s$
<ul style="list-style-type: none"> $L \geq 120 \text{ m}$ 	$3,6 + 2,20 k^{1/2} + s$

Weather strength deck and trunk deck, if any (2)	
<ul style="list-style-type: none"> area within $0,4 L$ amidships 	
<ul style="list-style-type: none"> - longitudinal framing 	$1,6 + 0,032 L k^{1/2} + 4,5 s$
<ul style="list-style-type: none"> - transverse framing 	$1,6 + 0,040 L k^{1/2} + 4,5 s$
<ul style="list-style-type: none"> area outside $0,4 L$ amidships 	(3)
<ul style="list-style-type: none"> between hatchways 	$2,1 + 0,013 L k^{1/2} + 4,5 s$
<ul style="list-style-type: none"> at fore and aft part 	$2,1 + 0,013 L k^{1/2} + 4,5 s$



Cargo deck	
• general	$8 s k^{1/2}$
• wheeled load only	4,5
Accommodation deck	
• $L < 120$ m	$1,3 + 0,004 L k^{1/2} + 4,5 s$
• $L \geq 120$ m	$2,1 + 2,20 k^{1/2} + s$

Platform in engine room	
• $L < 120$ m	$1,7 + 0,013 L k^{1/2} + 4,5 s$
• $L \geq 120$ m	$3,6 + 2,20 k^{1/2} + s$
Transv. watertight bulkhead (4)	
• $L < 120$ m	$1,3 + 0,004 L k^{1/2} + 4,5 s$
• $L \geq 120$ m	$2,1 + 2,20 k^{1/2} + s$



Longitud. watertight bulkhead (4)	
• $L < 120 \text{ m}$	$1,7 + 0,013 L k^{1/2} + 4,5 s$
• $L \geq 120 \text{ m}$	$3,6 + 2,20 k^{1/2} + s$
Tank and wash bulkheads (4)	
• $L < 120 \text{ m}$	$1,7 + 0,013 L k^{1/2} + 4,5 s$
• $L \geq 120 \text{ m}$	$3,6 + 2,20 k^{1/2} + s$

- (1) Not applicable to ships with one of the service notations **passenger ship** and **ro-ro passenger ship**. For such ships, refer to the applicable requirements of **Part D**.
- (2) Not applicable to ships with one of the following service notations (for such ships, refer to the applicable requirements of **Part D**):
- ro-ro cargo ship
 - liquefied gas carrier
 - passenger ship
 - ro-ro passenger ship.
- (3) The minimum net thickness is to be obtained by linearly interpolating between that required for the area within 0,4 L amidships and that at the fore and aft part.
- (4) Not applicable to ships with the service notation **liquefied gas carrier**.

“Como vemos, en algunos casos habremos de ir al capítulo específico para buques de pasaje Part E.”



En la Parte E, Capítulo 12, Sección 3, se da la siguiente tabla de espesores mínimos para los casos de planchas del fondo, costado y cubiertas a la intemperie:

Plating	Minimum net thickness, in mm
Inner bottom outside engine room	$2,0 + 0,02 L k^{1/2} + 4,5 s$
Side <ul style="list-style-type: none"> below freeboard deck between freeboard deck and strength deck 	$2,1 + 0,028 L k^{1/2} + 4,5 s$ (1)
Weather strength deck and trunk deck	$2,2 k^{1/2} + 2,1 + s$

(1) see Pt B, Ch 7, Sec 1, [2.2] or Pt B, Ch 8, Sec 3, [2.2], depending on the length of the ship.

Note 1:

k : Material factor for steel, defined in Pt B, Ch 4, Sec 1, [2.3].

s : Length, in m, of the shorter side of the plate panel.

9.2. Espesor mínimo aplicando presiones laterales, t_{pre}

Se calcula según la Parte B, Capítulo 7, Sección 1 del Bureau Veritas. Se indica aquí cuales son las presiones que vamos a tener en cuenta:

- Presiones en estado intacto.
- Presiones debidas a inundación.
- Presiones en prueba de tanques.

9.2.1. Presión Lateral en Estado Intacto

La presión lateral en Condiciones Intactas son las debidas a aguas tranquilas y a las olas. La presión lateral debida a aguas tranquilas (P_s) incluye:

- La presión en aguas tranquilas definida en el Capítulo 5, Sección 5.
- La presión interna, definida en Capítulo 5 Sección 6 para los diferentes tipos de carga y para lastre.

La presión lateral debida a la olas (P_w) incluye:

- La presión de ola, definida en Capítulo 5 Sección 5 para el caso de carga "a"
- La presión interna, definida en Capítulo 5 sección 6, para varios tipos de carga y lastre para el caso "a".



- La presión dinámica de acuerdo al criterio en el Capítulo 5 Sección 6

Para cada caso (P_s y P_w) escogemos siempre la mayor presión obtenida. Por ejemplo, para P_w si en un tanque de lastre la presión inercial por presiones internas es mayor que la presión por mar, escogemos la primera.

9.2.2. Presión Lateral en condiciones de inundación

Es la presión que se aplica a aquellos espacios susceptibles de sufrir inundación y está constituida por la Presión en aguas tranquilas P_{SF} y la presión debida a la ola P_{WF} .

9.2.3 Presión en condiciones de pruebas

Se aplica a aquellos tanques a los que se ha de probar su estanqueidad con prueba de presión: tanques de doble fondo. Está constituida por la presión en aguas tranquilas P_{SF} .

Todas estas presiones (P_s , P_w , P_{SF} , P_{ST}) ya las hemos calculado anteriormente. Con estas presiones y con una serie de parámetros, el reglamento nos da las siguientes fórmulas para calcular los espesores según tipo de estructura (longitudinal o transversal) y condición (general, inundación, prueba de tanque).

9.2.4. Espesor de las planchas que contribuyen con el buque viga en sentido longitudinal

En estado intacto:

$$t = 14,9 c_a c_r s \sqrt{\gamma_R \gamma_m \frac{\gamma_{s2} P_s + \gamma_{w2} P_w}{R_y}}$$

Donde:

- Para planchas del fondo y doble fondo:

$$\lambda_L = \sqrt{1 - 0,95 \left(\gamma_m \frac{\sigma_{x1}}{R_y} \right)^2} - 0,225 \gamma_m \frac{\sigma_{x1}}{R_y}$$

- Para planchas del pantoque, costado y mamparos longitudinales:

$$\lambda_L = \sqrt{1 - 3 \left(\gamma_m \frac{\tau_1}{R_y} \right)^2 - 0,95 \left(\gamma_m \frac{\sigma_{x1}}{R_y} \right)^2} - 0,225 \gamma_m \frac{\sigma_{x1}}{R_y}$$



En condiciones de inundación;

$$t = 14,9 c_a c_r s \sqrt{\gamma_R \gamma_m \frac{\gamma_{S2} p_{SF} + \gamma_{W2} p_{WF}}{\lambda_L R_y}}$$

Donde λ_L ya ha sido anteriormente definida

En condiciones de pruebas;

“Este requerimiento no es aplicable al fondo ni a las planchas de costado”.

9.2.5. Espesor de las planchas que contribuyen con el buque viga en sentido transversal.

En estado intacto:

$$t = 17,2 \cdot c_a \cdot c_r \cdot s \sqrt{\gamma_R \gamma_m \frac{\gamma_{S2} \cdot p_s + \gamma_{W2} \cdot p_w}{\lambda_T R_y}}$$

Donde:

$$\lambda_T = 1 - 0,89 \cdot \gamma_m \cdot \frac{\sigma_{x1}}{R_y}$$

σ_{x1} ya se ha definido anteriormente.

En condiciones de inundación:

$$t = 17,2 c_a c_r s \sqrt{\gamma_R \gamma_m \frac{\gamma_{S2} p_{SF} + \gamma_{W2} p_{WF}}{\lambda_T R_y}}$$

Donde λ_T ya se ha definido anteriormente.

**Condiciones de pruebas**

$$t = 14,9 \cdot C_a \cdot C_r \cdot S \sqrt{\gamma_R \gamma_M \frac{\gamma_{S2} \cdot P_{ST}}{R_y}}$$

Este requerimiento no es aplicable al fondo ni a las planchas de costado.

9.3. Espesor planchas del fondo, doble fondo, pantoque y quilla.

Según el Bureau Veritas, Parte B, Capítulo 7, Sección 1. El espesor (t_{pre}) de las planchas del fondo viene dado por la siguiente expresión:

$$t = 14,9 C_a C_r S \sqrt{\gamma_R \gamma_m \frac{\gamma_{S2} P_{SF} + \gamma_{W2} P_{WF}}{\lambda_L R_y}}$$

Donde:

- Para planchas del fondo y doble fondo:

$$\lambda_L = \sqrt{1 - 0,95 \left(\gamma_m \frac{\sigma_{x1}}{R_y} \right)^2} - 0,225 \gamma_m \frac{\sigma_{x1}}{R_y}$$

- Para planchas del pantoque:

$$\lambda_L = \sqrt{1 - 3 \left(\gamma_m \frac{\tau_1}{R_y} \right)^2 - 0,95 \left(\gamma_m \frac{\sigma_{x1}}{R_y} \right)^2} - 0,225 \gamma_m \frac{\sigma_{x1}}{R_y}$$

Calculamos, ahora, cada uno de los factores que intervienen en estas fórmulas:

$C_a=1$ (relación aspecto panel, tomamos el valor mayor posible)

$C_r= 0,75$ (coeficiente de curvatura panel, tomamos el valor menor posible)

$s= 0,8$ (espaciado entre cuadernas)



Factores de seguridad, se toman según la siguiente tabla:

Partial safety factors covering uncertainties regarding:	Symbol	Strength check of plating subjected to lateral pressure					Buckling check
		General	Sloshing pressure	Impact pressure	Watertight bulkhead plating (1)	Testing check	
		see [3.2], [3.3.1], [3.4.1], [3.5.1] and [4]			see [3.3.2], [3.4.2] and [3.5.2]	see [3.3.3], [3.4.3], [3.5.3]	
Still water hull girder loads	γ_{s1}	1,00	0	0	1,00	N.A.	1,00
Wave hull girder loads	γ_{w1}	1,15	0	0	1,15	N.A.	1,15
Still water pressure	γ_{s2}	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	N.A.
Wave pressure	γ_{w2}	1,20	1,05	1,20	1,20	N.A.	N.A.
Material	γ_m	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02
Resistance	γ_R	1,20	1,10	1,02	1,05 (2)	1,05	1,10

(1) Applies also to plating of bulkheads or inner side which constitute boundary of compartments not intended to carry liquids.
(2) For plating of the collision bulkhead, $\gamma_R = 1,25$
Note 1: N.A. = not applicable

Donde;

- $\gamma_R = 1,20$; $\gamma_M = 1,02$; $\gamma_{s2} = 1$; $\gamma_{w2} = 1,20$

9.3.1. Planchas del fondo.

Para realizar el cálculo del espesor de las planchas del fondo, utilizaremos las formulas facilitadas por nuestra sociedad de clasificación:

- $t_{min} = 3,2 + 0,018 L k^{1/2} + 4,5 s = 9,92 \text{ mm.}$
- $t_{PRE} = 14,9 \cdot c_a \cdot c_T \cdot S \sqrt{\gamma_R \gamma_M \frac{\gamma_{s2} \cdot P_s + \gamma_{w2} \cdot P_w}{\lambda_L R_Y}} = 10,64 \text{ mm.}$
- $t_{TES} = 14,9 \cdot c_a \cdot c_T \cdot S \sqrt{\gamma_R \gamma_M \frac{\gamma_{s2} \cdot P_{ST}}{\lambda_L}} = 12,62 \text{ mm.}$

“Todos los datos de los que dependen las formulas facilitadas por nuestra sociedad de clasificación ya han sido explicados en anteriores apartados.”

**9.3.2. Planchas del doble fondo.**

Para realizar el cálculo del espesor de las planchas del doble fondo, utilizaremos las formulas facilitadas por nuestra sociedad de clasificación:

- $t_{\min} = 2,0 + 0,02L \cdot k^{1/2} + 4,5s = 9,06\text{mm}.$
- $t_{\text{FLO}} = 14,9 \cdot c_a \cdot c_r \cdot S \sqrt{\gamma_R \gamma_M \frac{\gamma_{S2} \cdot P_{SF} + \gamma_{W2} \cdot P_{WF}}{\lambda_L R_Y}} = 8,47\text{mm}.$
- $t_{\text{PRE}} = 14,9 \cdot c_a \cdot c_r \cdot S \sqrt{\gamma_R \gamma_M \frac{\gamma_{S2} \cdot P_s + \gamma_{W2} \cdot P_W}{\lambda_L R_Y}} = 10,21\text{mm}.$
- $t_{\text{TES}} = 14,9 \cdot c_a \cdot c_r \cdot S \sqrt{\gamma_R \gamma_M \frac{\gamma_{S2} \cdot P_{ST}}{\lambda_L}} = 12,02\text{mm}.$

“Todos los datos de los que dependen las formulas facilitadas por nuestra sociedad de clasificación ya han sido explicados en anteriores apartados.”

9.3.3. Planchas del pantoque y de la quilla.

Para realizar el cálculo del espesor mínimo de las planchas del pantoque y de la quilla, utilizaremos la formula facilitada por nuestra sociedad de clasificación, la cual, será la misma para ambas planchas, según está estipulado en el reglamento del Bureau Veritas:

- $t_{\min} = 0,72[\gamma_R \cdot \gamma_M \cdot (\gamma_{S2} \cdot P_s + \gamma_{W2} \cdot P_w)]^{0.4} \cdot R^{0.6} = 13,79 \text{ mm}.$
- $t_{\text{PRE}} = 14,9 \cdot c_a \cdot c_r \cdot S \sqrt{\gamma_R \gamma_M \frac{\gamma_{S2} \cdot P_s + \gamma_{W2} \cdot P_W}{\lambda_L R_Y}} = 10,75\text{mm}.$
- $t_{\text{TES}} = 14,9 \cdot c_a \cdot c_r \cdot S \sqrt{\gamma_R \gamma_M \frac{\gamma_{S2} \cdot P_{ST}}{\lambda_L}} = 12,32\text{mm}.$

“Todos los datos de los que dependen las formulas facilitadas por nuestra sociedad de clasificación ya han sido explicados en anteriores apartados.”

9.3.4. Selección de espesores.

Una vez calculados los espesores mínimos mediante las formulas facilitadas por la sociedad de clasificación, estamos en disposición de elegir los espesores de dichos elementos de nuestro buque.

Tomaremos un espesor de la chapa del fondo, pantoque y quilla de 14 mm, con el fin de dar continuidad a la estructura del fondo. Por otra parte, utilizaremos un espesor de 13mm para la chapa del doble fondo.

**9.4. Espesor planchas de varengas y vagras del doble fondo**

Según Bureau Veritas, Parte B, Capítulo 7, Sección 3:

Como regla general el espesor requerido no debe ser menor que el valor dado por la siguiente fórmula:

$$t_{\min} = 3,7 + 1,8 k^{1/2} = 5,5 \text{ mm}$$

El espesor de las planchas de las vagras y las varengas viene dado por la siguiente tabla;

Primary supporting member	Minimum net thickness, in mm	
	Area within 0,4L amidships	Area outside 0,4L amidships
Centre girder	$2,0 L^{1/3} k^{1/6}$	$1,7 L^{1/3} k^{1/6}$
Side girders	$1,4 L^{1/3} k^{1/6}$	$1,4 L^{1/3} k^{1/6}$
Floors	$1,5 L^{1/3} k^{1/6}$	$1,5 L^{1/3} k^{1/6}$
Girder bounding a duct keel (1)	$1,5 + 0,8 L^{1/2} k^{1/4}$	$1,5 + 0,8 L^{1/2} k^{1/4}$
Margin plate	$L^{1/2} k^{1/4}$	$0,9 L^{1/2} k^{1/4}$
(1) The minimum net thickness is to be taken not less than that required for the centre girder.		

Donde el espesor mínimo recomendado por nuestra sociedad de clasificación de las planchas de las vagras será:

- $t_{\text{vagra}} = 2,0 L^{1/3} k^{1/6}$ "vagra central" $t_{\text{vagra central}} = 11,15 \text{ mm}$
- $t_{\text{vagra}} = 1,4 L^{1/3} k^{1/6}$ $t_{\text{vagras}} = 7,80 \text{ mm}$

Por otro lado, el espesor mínimo recomendado por nuestra sociedad de clasificación de las planchas de las varengas viene dado por las siguientes fórmulas:

- $t_{\text{varenga}} = 1,5 L^{1/3} k^{1/6}$ $t_{\text{varengas}} = 8,36 \text{ mm}$



En consecuencia, una vez calculados los espesores mínimos de dichos elementos, podemos elegir el espesor que creamos conveniente para nuestro buque.

- $t_{\text{vagra central}} = 13 \text{ mm}$
- $t_{\text{vagas}} = 10 \text{ mm}$
- $t_{\text{varengas}} = 10 \text{ mm}$

Las varengas tendrán unos esfuerzos verticales, serán llantas de cara, y su escantillón vendrá dado por:

- Llantas de cara:

$$e = 1/(10 \times \text{"Altura Varenga"}) = 1/[10 \times (2,0)] = 0,05 \text{ m}$$

- Espesor no menor de:

$$t = L^{1/2} k^{1/4} = 13,16 \text{ mm}$$

Por tanto las llantas de cara serán de 50x14 mm. Además las varengas no estancas llevarán aligeramientos de dimensiones 600x400 mm.

9.5. Longitudinales del fondo y del doble fondo

El módulo resistente mínimo exigido por nuestra sociedad de clasificación, para los longitudinales del fondo, viene dado por la siguiente expresión:

$$W = \gamma_R \gamma_m \beta_b \frac{\gamma_{S2} P_S + \gamma_{W2} P_W}{12(R_y - \gamma_R \gamma_m \sigma_{X1})} \left(1 - \frac{s}{2l}\right) s \ell^2 10^3$$

Donde;

- $z = 0 \text{ m}$.
- $l = 3,2 \text{ m}$.
- $s = 0,625 \text{ m}$.
- $P_S = 62,34 \text{ kN/m}^2$.
- $P_W = 40,47 \text{ kN/m}^2$.
- $P_{ST} = 104,32 \text{ kN/m}^2$.

Presión lateral en condiciones intactas;

$$- W = \gamma_R \gamma_m \beta_b \frac{\gamma_{S2} P_S + \gamma_{W2} P_W}{12(R_y - \gamma_R \gamma_m \sigma_{X1})} \left(1 - \frac{s}{2l}\right) \cdot s \cdot l^2 \cdot 10^3 = 333,74 \text{ cm}^3$$

$$- A_{Sh} = 10 \gamma_R \gamma_m \beta_s \frac{\gamma_{S2} P_S + \gamma_{W2} P_W}{R_y} \left(1 - \frac{s}{2l}\right) \cdot s \cdot l = 10,42 \text{ cm}^2$$



Presión lateral en pruebas de presión;

$$\begin{aligned}
 - \quad w &= \gamma_R \cdot \gamma_M \cdot \beta_b \frac{\gamma_{S2} \cdot P_S}{12(R_y)} \left(1 - \frac{s}{2l}\right) \cdot s \cdot l^2 \cdot 10^3 = 261,49 \text{ cm}^3 \\
 - \quad A_{Sh} &= 10 \gamma_R \cdot \gamma_M \cdot \beta_s \frac{\gamma_{S2} \cdot P_S + \gamma_{W2} \cdot P_w}{R_y} \left(1 - \frac{s}{2l}\right) \cdot s \cdot l = 9,81 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

Con estos valores se obtiene que el módulo resistente tendrá un valor mínimo de:

$$w = 333,74 \text{ cm}^3$$

En consecuencia tomaremos llantas con bulbo de 240x10 mm para los longitudinales de fondo. En todos los casos, los perfiles HP que utilizamos en este cuaderno, tienen una plancha asociada de 625 mm; se ha tenido en cuenta la variación del módulo de resistencia, dado por las tablas de perfiles HP, cuando difieren los espesores de la chapa asociada y del alma del perfil.

Para los longitudinales de doble fondo, utilizaremos las mismas expresiones. Donde;

- $z = 2 \text{ m.}$
- $l = 3,2 \text{ m.}$
- $s = 0,625 \text{ m.}$
- $P_S = 42,25 \text{ kN/m}^2.$
- $P_W = 43,84 \text{ kN/m}^2.$
- $P_{ST} = 84,21 \text{ kN/m}^2.$
- $P_{SF} = 70,39 \text{ kN/m}^2.$
- $P_{WF} = 19,46 \text{ kN/m}^2.$

Presión lateral en condiciones intactas;

$$\begin{aligned}
 - \quad w &= \gamma_R \cdot \gamma_M \cdot \beta_b \frac{\gamma_{S2} \cdot P_S + \gamma_{W2} \cdot P_w}{12(R_y - \gamma_R \cdot \gamma_M \cdot \sigma_{X1})} \left(1 - \frac{s}{2l}\right) \cdot s \cdot l^2 \cdot 10^3 = 275,39 \text{ cm}^3 \\
 - \quad A_{Sh} &= 10 \gamma_R \cdot \gamma_M \cdot \beta_s \frac{\gamma_{S2} \cdot P_S + \gamma_{W2} \cdot P_w}{R_y} \left(1 - \frac{s}{2l}\right) \cdot s \cdot l = 8,92 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

Presión lateral en pruebas de presión;

$$\begin{aligned}
 - \quad w &= \gamma_R \cdot \gamma_M \cdot \beta_b \frac{\gamma_{S2} \cdot P_S}{12(R_y)} \left(1 - \frac{s}{2l}\right) \cdot s \cdot l^2 \cdot 10^3 = 244,48 \text{ cm}^3 \\
 - \quad A_{Sh} &= 10 \gamma_R \cdot \gamma_M \cdot \beta_s \frac{\gamma_{S2} \cdot P_S + \gamma_{W2} \cdot P_w}{R_y} \left(1 - \frac{s}{2l}\right) \cdot s \cdot l = 7,92 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$



Presión lateral en condiciones de inundación;

$$- w = \gamma_R \cdot \gamma_M \cdot \beta_b \frac{\gamma_{S2} \cdot P_{SF} + \gamma_{W2} \cdot P_{WF}}{12(R_y - \gamma_R \cdot \gamma_M \cdot \sigma_{X1})} \left(1 - \frac{s}{2l}\right) \cdot s \cdot l^2 \cdot 10^3 = 272,15 \text{ cm}^3$$

$$- A_{Sh} = 10 \gamma_R \cdot \gamma_M \cdot \beta_s \frac{\gamma_{S2} \cdot P_{SF} + \gamma_{W2} \cdot P_{WF}}{R_y} \left(1 - \frac{s}{2l}\right) \cdot s \cdot l = 8,81 \text{ cm}^2$$

Con estos valores se obtiene que el módulo resistente tendrá un valor mínimo de:

$$w = 275,39 \text{ cm}^3$$

Por tanto, utilizaremos llantas con bulbo de **220x10mm** para los longitudinales de doble fondo.

9.6. Estructuras del costado

9.6.1. Planchas del costado

Basándonos en las dimensiones estándar de las planchas de acero que se utilizan en Construcción Naval y que son suministradas por las empresas siderúrgicas de los Astilleros, hemos dividido el costado del buque desde la plancha del pantoque hasta la cubierta resistente en 6 planchas de 2400 mm de ancho y 1 plancha de 2350 mm de ancho.

El espesor de las planchas del costado vendrá dado por la expresión:

$$t = 14,9 c_a c_r s \sqrt{\gamma_R \gamma_m \frac{\gamma_{S2} P_S + \gamma_{W2} P_W}{R_y}}$$

Expresión que, al depender de la altura toma los valores siguientes:

Planchas Costado				
z (m.)	Ps (kN/m ²)	Pw (kN/m ²)	t _{min.} (mm.)	t (mm.)
4.35	5.02	49.77	10.38	11.00
6.75	5.02	49.77	10.38	11.00
9.15	0.00	25.96	7.20	9.00
11.55	0.00	25.96	7.20	9.00
13.95	0.00	25.96	7.20	9.00
16.35	0.00	25.96	7.20	9.00
18.75	0.00	25.96	7.20	9.00

“Espesores de planchas hasta la altura señalada.”



Aun habiendo obtenido un espesor de 8 mm para las planchas que se hayan por encima de 6.75 m, tomaremos espesor de 9 mm para estas planchas para dar continuidad a la estructura.

A partir de la cubierta resistente y hasta la cubierta más alta del buque, el espesor de las planchas del costado será también de 9 mm según los cálculos realizados.

9.6.2. Cuadernas y bulárcamas

9.6.2.1. Cuadernas entre el D. fondo y la Cta. Principal

El módulo resistente requerido viene dado por la expresión:

$$W = \gamma_R \gamma_M \beta_b \frac{\gamma_{S2} P_S + \gamma_{W2} P_W}{12(R_y - \gamma_R \gamma_M \sigma_{X1})} \left(1 - \frac{s}{2l}\right) s l^2 10^3$$

Donde β_b es un coeficiente que toma en nuestro caso el valor de 1, y sabiendo que:

- $z = 5,5$ m.
- $l = 3,2$ m.
- $s = 0,8$ m.
- $P_S = 5,02$ kN/m².
- $P_W = 49,77$ kN/m².

Con estos valores se obtiene un módulo resistente para las cuadernas entre el doble fondo y la cubierta principal de carga de:

$$\begin{aligned} - \quad W &= \gamma_R \cdot \gamma_M \cdot \beta_b \frac{\gamma_{S2} \cdot P_S + \gamma_{W2} \cdot P_W}{12(R_y - \gamma_R \cdot \gamma_M \cdot \sigma_{X1})} \left(1 - \frac{s}{2l}\right) \cdot s \cdot l^2 \cdot 10^3 = 219,75 \text{ cm}^3 \\ - \quad A_{Sh} &= 10 \gamma_R \cdot \gamma_M \cdot \beta_s \frac{\gamma_{S2} \cdot P_S + \gamma_{W2} \cdot P_W}{R_y} \left(1 - \frac{s}{2l}\right) \cdot s \cdot l = 7,55 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Utilizaremos por tanto para las cuadernas en esta zona perfiles HP 220x10 para las cuadernas de costado hasta la cubierta principal.

9.6.2.2. Bulárcamas entre el D.fondo y la Cta Principal

Dispondremos de bulárcamas cada cuatro claras de cuaderna, a misión de la bulárcama es recoger los esfuerzos locales que soportan las cuadernas, el módulo de las bulárcamas deberá ser como mínimo la suma de los módulos de las cuadernas que le correspondan, por lo tanto:

$$W_{\text{bulárcamas}} = 2W_{\text{cuadernas}} = 2 \times 219,75 = 439,5 \text{ cm}^3$$

Utilizaremos para la **bulárcamas** perfiles en T de 400x10-100x10 mm.



9.6.3. Longitudinales

Serán utilizados en los costados del buque por encima de la cubierta principal, ya que se ha decidido emplear en esta zona una estructura longitudinal.

Las expresiones utilizadas son:

$$w = \gamma_R \gamma_m \beta_b \frac{\gamma_{S2} P_S + \gamma_{W2} P_W}{12 (R_y - \gamma_R \gamma_m \sigma_{X1})} \left(1 - \frac{s}{2l}\right) s l^2 10^3$$

Que, dependientes de la altura a la que queramos calcular el módulo del refuerzo correspondiente, aplicando los cálculos pertinentes, obtenemos los módulos requeridos:

9.6.3.1. Entre la cubierta principal de carga y la cubierta superior de carga

- $z = 12,05 \text{ m.}$
- $l = 2,4 \text{ m.}$
- $s = 0,87 \text{ m.}$
- $P_S = 0,00 \text{ kN/m}^2.$
- $P_W = 25,96 \text{ kN/m}^2.$

Con estos valores se obtiene un módulo resistente para los longitudinales entre la cubierta principal de carga y la cubierta superior de carga de:

$$- w = \gamma_R \gamma_m \beta_b \frac{\gamma_{S2} P_S + \gamma_{W2} P_W}{12 (R_y - \gamma_R \gamma_m \sigma_{X1})} \left(1 - \frac{s}{2l}\right) \cdot s \cdot l^2 \cdot 10^3 = 56,39 \text{ cm}^3$$

$$- A_{Sh} = 10 \gamma_R \gamma_m \beta_s \frac{\gamma_{S2} P_S + \gamma_{W2} P_W}{R_y} \left(1 - \frac{s}{2l}\right) \cdot s \cdot l = 2,77 \text{ cm}^2$$

$$w = 56,39 \text{ cm}^3$$

Utilizaremos **Llantas con Bulbo HP 140x7.**

9.6.3.2. Entre la cubierta superior de carga y la 1ª cubierta de pasaje:

- $z = 16,93 \text{ m.}$
- $l = 2,4 \text{ m.}$
- $s = 0,73 \text{ m.}$
- $P_S = 0,00 \text{ kN/m}^2.$
- $P_W = 25,96 \text{ kN/m}^2.$



Con estos valores se obtiene un módulo resistente para los longitudinales entre la cubierta superior de carga y la 1ª cubierta de pasaje de:

$$\begin{aligned}
 - \quad w &= \gamma_R \cdot \gamma_M \cdot \beta_b \frac{\gamma_{S2} \cdot P_s + \gamma_{W2} \cdot P_w}{12(R_y - \gamma_R \cdot \gamma_M \cdot \sigma_{X1})} \left(1 - \frac{s}{2l}\right) \cdot s \cdot l^2 \cdot 10^3 = 53,01 \text{ cm}^3 \\
 - \quad A_{Sh} &= 10 \gamma_R \cdot \gamma_M \cdot \beta_s \frac{\gamma_{S2} \cdot P_s + \gamma_{W2} \cdot P_w}{R_y} \left(1 - \frac{s}{2l}\right) \cdot s \cdot l = 2,41 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$w = 53,01 \text{ cm}^3$$

Utilizaremos **Llantas con Bulbo HP 140x7**.

9.6.3.3. Entre la 1ª Cta de Pasaje y Techo Puente:

- $z = 20,20 \text{ m}$.
- $l = 1,55 \text{ m}$.
- $s = 0,775 \text{ m}$.
- $P_s = 0,00 \text{ kN/m}^2$.
- $P_w = 25,96 \text{ kN/m}^2$.

Con estos valores se obtiene un módulo resistente para los longitudinales entre la 1ª Cta de Pasaje y Techo Puente de:

$$\begin{aligned}
 - \quad w &= \gamma_R \cdot \gamma_M \cdot \beta_b \frac{\gamma_{S2} \cdot P_s + \gamma_{W2} \cdot P_w}{12(R_y - \gamma_R \cdot \gamma_M \cdot \sigma_{X1})} \left(1 - \frac{s}{2l}\right) \cdot s \cdot l^2 \cdot 10^3 = 21,97 \text{ cm}^3 \\
 - \quad A_{Sh} &= 10 \gamma_R \cdot \gamma_M \cdot \beta_s \frac{\gamma_{S2} \cdot P_s + \gamma_{W2} \cdot P_w}{R_y} \left(1 - \frac{s}{2l}\right) \cdot s \cdot l = 1,46 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$w = 21,97 \text{ cm}^3$$

Utilizaremos **Llantas con Bulbo HP 120x7**.

9.6.4. Bulárcamas por encima de la cubierta principal

Dispondremos de bulárcamas cada 3,2 m, su módulo vendrá dado por la expresión:

$$w = \gamma_R \gamma_m \beta_b \frac{\gamma_{S2} P_s + \gamma_{W2} P_w}{m(R_y - \gamma_R \gamma_m \sigma_{X1})} s \ell^2 10^3$$

Donde,

- $z = 18,75 \text{ m}$.
- $l = 2,00 \text{ m}$.
- $s = 3,20 \text{ m}$.



- $P_S = 0,00 \text{ kN/m}^2$.
- $P_W = 25,96 \text{ kN/m}^2$.

Con estos valores se obtiene un módulo resistente para las bulárcamas por encima de la cubierta principal de:

$$- W = \gamma_R \cdot \gamma_M \cdot \beta_b \frac{\gamma_{S2} \cdot P_S + \gamma_{W2} \cdot P_W}{12(\gamma_y - \gamma_R \cdot \gamma_M \cdot \sigma_{X1})} S \cdot I^2 \cdot 10^3 = 196,28 \text{ cm}^3$$

$$- A_{Sh} = 10 \gamma_R \cdot \gamma_M \cdot \beta_s \frac{\gamma_{S2} \cdot P_S + \gamma_{W2} \cdot P_W}{R_y} S \cdot l = 10,38 \text{ cm}^2$$

$$W_{\text{bulárcamas encima cta ppa}} = 196,28 \text{ cm}^3$$

Utilizaremos un perfil en T de 200x7-120x7 con plancha asociada de 625mm.

9.7. Estructuras de las cubiertas

9.7.1. Estructura de las cubiertas de carga rodada

9.7.1.1. Planchas de las cubiertas de carga rodada

Vamos a calcular el escantillonado de las cubiertas de carga rodada, para ello utilizamos las expresiones dadas por el Bureau Veritas en Parte B, Capítulo 7, Sección 1.

El espesor de estas cubiertas viene dado por la expresión:

$$t = C_{WL} (nP_0 k)^{0.5} - t_c$$

Donde:

- P_0 es la fuerza ejercida por la rueda en kN y viene dada por la expresión:

$$P_0 = \gamma_{S2} F_S + 0,4 \gamma_{W2} F_{W,z}$$

- F_S y $F_{W,z}$ fueron definidas según la normativa de Bureau Veritas Parte B Capítulo 5 Sección 6, en el apartado 3.2.2.

$$P_0 = 1 \cdot 18,4 + 0,4 \cdot 1,2 \cdot 3,39 = 20,03 \text{ kN.}$$

- El valor de C_{WL} viene dado por la expresión:

$$C_{WL} = 2,15 - \frac{0,05 \ell}{s} + 0,02 \left(4 - \frac{\ell}{s} \right) \alpha^{0.5} - 1,75 \alpha^{0.25}$$



Donde;

$$\alpha = \frac{A_T}{\ell s}$$

Siendo A_T la huella de los neumáticos, si no se conoce su valor, podemos utilizar la fórmula dada por Bureau Veritas en la Parte B Capítulo 7 Sección 1:

$$A_T = \frac{n Q_A}{n_W p_T}$$

“n” es el numero de ruedas sobre la plancha de la cubierta (n= 4). Y “ P_T ” es la presión de los neumáticos, que según Bureau Veritas toma un valor de 800 kN/m². Por tanto se obtiene un valor de A_T de:

$$A_T = 0,23$$

Una vez disponemos del valor A_T , sabiendo el valor de “s = 0,8 m” y “l = 2,5 m”. Podemos hallar el valor de α ;

$$\alpha = 0,115$$

Por último el valor de C_{WL} será:

$$C_{WL} = 2,15 - 0,05 \cdot 2,5 / 0,8 + 0,02 \cdot (4 - 2,5 / 0,8) \cdot 0,115^{0,5} - 1,75 \cdot 0,115^{0,25} = 0,98$$

Por tanto el valor mínimo del espesor de las planchas de las cubiertas con carga rodada será:

$$t = C_{WL} (n P_0 k)^{0,5} - t_c = 8,02 \text{ mm.}$$

$$t = 9 \text{ mm.}$$

Las cargas sobre las cubiertas de los garajes a razón de camiones de 45T distribuidos en tres ejes de 15T, con doble rueda de los ejes traseros. Además las cubiertas se consideran a razón de 2 T/m².




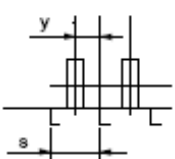
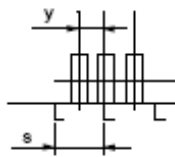
9.7.1.2. Longitudinales de cubierta de carga rodada

El módulo mínimo de los longitudinales de cubierta viene dado por la fórmula:

$$w = \gamma_R \gamma_m \frac{\alpha_s P_0 \ell}{4(R_y - \gamma_R \gamma_m \sigma_{X1})} 10^3$$

Donde “ α_s ” es un coeficiente que viene dado por la tabla de la siguiente página, en nuestro caso dicho coeficiente toma un valor igual a:

$$\alpha_s = 2$$

Configuration	Single axle		Double axes	
	α_s	α_r	α_s	α_r
Single wheel 	1	1	$0,5 \left(2 - \frac{d}{\ell} \right)^2$	$2 + \frac{d}{\ell}$
Double wheels 	$2 \left(1 - \frac{y}{s} \right)$	$2 \left(1 - \frac{y}{s} \right)$	$\left(1 - \frac{y}{s} \right) \left(2 - \frac{d}{\ell} \right)^2$	$2 \left(1 - \frac{y}{s} \right) \left(2 + \frac{d}{\ell} \right)$
Triple wheels 	$3 - 2 \frac{y}{s}$	$3 - 2 \frac{y}{s}$	$0,5 \left(3 - 2 \frac{y}{s} \right) \left(2 - \frac{d}{\ell} \right)^2$	$\left(3 - 2 \frac{y}{s} \right) \left(2 + \frac{d}{\ell} \right)$
Note 1: d : Distance, in m, between two axes (see Fig 4) y : Distance, in m, from the external wheel of a group of wheels to the stiffener under consideration, to be taken equal to the distance from the external wheel to the centre of the group of wheels.				



Donde;

- $l = 2,50 \text{ m.}$
- $\alpha_s = 2,00$
- $P_0 = 20,03 \text{ kN.}$
- $\sigma_{x1} = 3,125 \text{ kN/m}^2.$

Con estos valores se obtiene un módulo resistente para los longitudinales de las cubiertas de carga rodada:

$$w = \gamma_R \cdot \gamma_M \frac{\alpha_s \cdot P_0 \cdot l}{4(R_y - \gamma_R \cdot \gamma_M \cdot \sigma_{x1})} 10^3 = 132,57 \text{ cm}^3$$

Emplearemos para estos **Llantas con Bulbo de HP200x10, equiespaciadas 625 mm.** También se utilizarán estos refuerzos en la cubierta superior.

9.7.1.3. Baos y esloras en las cubiertas de carga rodada

El módulo mínimo viene dado por la expresión:

$$w = \gamma_R \gamma_m \beta_b \frac{\gamma_{s2} p_s + \gamma_{w2} p_w}{m(R_y - \gamma_R \gamma_m \sigma_{x1})} s \ell^2 10^3$$

Donde, “ p_s ” y “ p_w ” se obtienen de la siguiente tabla para cubiertas con carga rodada:



Table 8 : Wheeled loads
Equivalent uniform still water and inertial pressures

Ship condition	Load case	Still water pressure p_s and inertial pressure p_w , in kN/m^2
Still water condition		$p_s = p_{eq}$
Upright condition	"a"	No inertial pressure
	"b"	$p_w = 0,4 p_{eq} a_{z1} / g$
Inclined condition	"c"	The inertial pressure may be disregarded
	"d"	$p_w = 0,4 p_{eq} a_{z2} / g$
Note 1: $p_{eq} = 10 \frac{n_v Q_A}{\ell_s} \left(3 - \frac{X_1 + X_2}{\ell_s} \right)$ <p> n_v : Maximum number of vehicles possible located on the primary supporting member Q_A : Maximum axle load, in t, defined in Ch 5, Sec 6, Tab 8 X_1 : Minimum distance, in m, between two consecutive axles (see Fig 2 and Fig 3) X_2 : Minimum distance, in m, between axles of two consecutive vehicles (see Fig 3). </p>		

Donde;

- n_v : Máximo número de vehículos que están localizados sobre el refuerzo.
- Q_A y a_z : Definidos anteriormente.
- X_1 : Mínima distancia entre dos ejes consecutivos.
- X_2 : Mínima distancia entre ejes de dos vehículos consecutivos.

Para el cálculo de los baos de las cubiertas de carga rodada tendremos:

- $n_v = 6$
- $X_1 = 1,3 \text{ m}$.
- $X_2 = 5,05 \text{ m}$.
- $\ell = 3,2 \text{ m}$.
- $s = 2,0 \text{ m}$.
- $p_s = -24,61 \text{ kN/m}^2$.
- $p_w = -4,54 \text{ kN/m}^2$.
- $z = 15,10 \text{ m}$.



Mediante la utilización de los datos facilitados en la anterior tabla, podremos calcular el valor mínimo del módulo resistente de los baos de las cubiertas de carga rodada, obteniendo;

$$- W = \gamma_R \cdot \gamma_M \cdot \beta_b \frac{\gamma_{S2} \cdot P_S + \gamma_{W2} \cdot P_W}{10(R_y - \gamma_R \cdot \gamma_M \cdot \sigma_{X1})} S \cdot l^2 \cdot 10^3 = 342,07 \text{ cm}^3$$

$$- A_{Sh} = 10 \gamma_R \cdot \gamma_M \cdot \beta_s \frac{\gamma_{S2} \cdot P_S + \gamma_{W2} \cdot P_W}{R_y} S \cdot l = 10,02 \text{ cm}^2$$

Los Baos serán perfiles en **T de 300X7-120X7 mm** con plancha asociada de 625 mm. Los situaremos cada 3,2 metros. Las Esloras que van soldadas a estas cubiertas de carga serán de acuerdo a los baos, serán perfiles en **T de 300X7-120X7mm** con plancha asociada de 625 mm. Los situaremos debajo de la línea centro, debajo de los mamparos de los tambuchos y a 4375 mm de LC a cada banda.

9.7.2. Estructura de la cubierta resistente

9.7.2.1. Plancha de la Cubierta Resistente

Datos previos necesarios para el cálculo del espesor mínimo;

- $z = 18,75 \text{ m.}$
- $s = 0,8 \text{ m.}$
- $P_S = 0,00 \text{ kN/m}^2.$
- $P_W = 25,96 \text{ kN/m}^2.$

Para realizar el cálculo del espesor de las planchas del fondo, utilizaremos las fórmulas facilitadas por nuestra sociedad de clasificación:

$$- t_{\min} = 2,1 + 2,20 k^{1/2} + s = 5.10 \text{ mm.}$$

$$- t_{\text{PRE}} = 14,9 \cdot c_a \cdot c_r \cdot S \sqrt{\gamma_R \gamma_M \frac{\gamma_{S2} \cdot P_S + \gamma_{W2} \cdot P_W}{\lambda_L R_y}} = 4.88 \text{ mm.}$$

$$t_{\text{cta.resistente}} = 7 \text{ mm.}$$

9.7.2.2. Longitudinales de la Cubierta Resistente

El valor del módulo mínimo viene dado por la expresión:

$$W = \gamma_R \gamma_M \beta_b \frac{\gamma_{S2} P_S + \gamma_{W2} P_W}{12(R_y - \gamma_R \gamma_M \sigma_{X1})} \left(1 - \frac{s}{2\ell}\right) s \ell^2 10^3$$

Realizando los cálculos pertinentes obtenemos que:

- $z = 18,75 \text{ m.}$
- $l = 1,4 \text{ m.}$



- $s = 0,625\text{m}$.
- $P_s = 7,5 \text{ kN/m}^2$.
- $P_w = 13,13 \text{ kN/m}^2$.
- $P_{SF} = 9,42 \text{ kN/m}^2$.
- $P_{WF} = 9,42 \text{ kN/m}^2$.

Presión lateral en condiciones intactas;

$$\begin{aligned}
 - \quad w &= \gamma_R \cdot \gamma_M \cdot \beta_b \frac{\gamma_{S2} \cdot P_s + \gamma_{W2} \cdot P_w}{12(R_y - \gamma_R \cdot \gamma_M \cdot \sigma_{X1})} \left(1 - \frac{s}{2l}\right) \cdot s \cdot l^2 \cdot 10^3 = 10,89 \text{ cm}^3 \\
 - \quad A_{Sh} &= 10 \gamma_R \cdot \gamma_M \cdot \beta_s \frac{\gamma_{S2} \cdot P_s + \gamma_{W2} \cdot P_w}{R_y} \left(1 - \frac{s}{2l}\right) \cdot s \cdot l = 0,82 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

Presión lateral en condiciones de inundación;

$$\begin{aligned}
 - \quad w &= \gamma_R \cdot \gamma_M \cdot \beta_b \frac{\gamma_{S2} \cdot P_{SF} + \gamma_{W2} \cdot P_{WF}}{12(R_y - \gamma_R \cdot \gamma_M \cdot \sigma_{X1})} \left(1 - \frac{s}{2l}\right) \cdot s \cdot l^2 \cdot 10^3 = 9,71 \text{ cm}^3 \\
 - \quad A_{Sh} &= 10 \gamma_R \cdot \gamma_M \cdot \beta_s \frac{\gamma_{S2} \cdot P_{SF} + \gamma_{W2} \cdot P_{WF}}{R_y} \left(1 - \frac{s}{2l}\right) \cdot s \cdot l = 0,73 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

Con estos valores se obtiene que el módulo resistente tendrá un valor mínimo de:

$$w = 10,89 \text{ cm}^3$$

Por tanto utilizaremos **perfiles HP 100x7**. Utilizaremos los mismos refuerzos para el resto de cubiertas de pasaje y tripulación.

9.7.2.3. Baos de la Cubierta Resistente

Para el cálculo de los baos de la cubierta resistente tendremos:

- $l = 3,2\text{m}$.
- $s = 2,5\text{m}$.
- $P_s = 5,00 \text{ kN/m}^2$.
- $P_w = 0,00 \text{ kN/m}^2$.
- $z = 18,75\text{m}$.

Mediante la utilización de los datos, podremos calcular el valor mínimo del modulo resistente de los baos de la cubierta resistente, obteniendo;

$$- \quad w = \gamma_R \cdot \gamma_M \cdot \beta_b \frac{\gamma_{S2} \cdot P_s + \gamma_{W2} \cdot P_w}{10(R_y - \gamma_R \cdot \gamma_M \cdot \sigma_{X1})} s \cdot l^2 \cdot 10^3 = 63,01 \text{ cm}^3$$



$$- A_{sh} = 10 \gamma_R \gamma_M \beta_s \frac{\gamma_{S2} \cdot P_S + \gamma_{W2} \cdot P_W}{R_y} s \cdot l = 2,08 \text{ cm}^2$$

$$w = 63,01 \text{ cm}^3$$

Los baos serán refuerzos serán perfiles en **T 150x6-75x6 mm** con plancha asociada de 625 mm situados cada 4 claras de cuadernas, es decir, 3,2 m. Estos mismos perfiles los utilizaremos en el resto de las cubiertas. Las esloras serán refuerzos de perfil en **T 150x6-75x6 mm**.

Situaremos una eslora a 4375 mm de la LC, ambas bandas, y otra en LC del mismo escantillón que los perfiles utilizados para los baos, en todas las cubiertas de habilitación.

9.7.3. Espesor del resto de cubiertas.

El espesor de las cubiertas vendrá dado por la expresión ya conocida:

$$t = 14,9 c_a c_r s \sqrt{\gamma_R \gamma_M \frac{\gamma_{S2} P_{SF} + \gamma_{W2} P_{WF}}{\lambda_L R_y}}$$

Datos previos necesarios para el cálculo del espesor mínimo;

- $l = 3.2$
- $s = 2,5\text{m}$.
- $P_S = 5,0 \text{ kN/m}^2$.
- $P_W = 0,00 \text{ kN/m}^2$.

Para realizar el cálculo del espesor de las planchas del fondo, utilizaremos las fórmulas facilitadas por nuestra sociedad de clasificación:

$$- t_{\min} = 2,1 + 2,20 k^{1/2} + s = 5.10 \text{ mm}.$$

$$- t_{\text{PRE}} = 14,9 \cdot c_a \cdot c_r \cdot s \sqrt{\gamma_R \gamma_M \frac{\gamma_{S2} \cdot P_S + \gamma_{W2} \cdot P_W}{\lambda_L R_y}} = 6.13 \text{ mm}.$$

$$t_{\text{resto cub.}} = 7 \text{ mm}.$$

El valor del espesor mínimo, mas grande del resto de cubiertas es de 6.13mm, por tanto las cubiertas de habilitación y tripulación tendrán una chapa de espesor de 7 mm.



10. Comprobación del módulo resistente

Una vez determinados los distintos elementos estructurales del buque, estableciendo los materiales a utilizar y el escantillonado de dichos elementos a partir de las cargas locales que deben soportar, tal y como las define nuestra Sociedad de Clasificación. Es necesario comprobar, por último, que la estructura cumple los requisitos de resistencia estructural impuestos por Bureau Veritas.

Por ello se ha calculado, con ayuda de la siguiente hoja de cálculo, el módulo resistente y el momento de inercia de la cuaderna maestra reseñada. Al ser simétrica respecto crujía los cálculos de dicha tabla solo son de media cuaderna maestra.



Elementos	Nº	Escantillón			Área (cm ²)	Y _G (m)	A x Y (cm ² x m)	A x Y ² (cm ² x m ²)	h _{eq} (m)	I ₀ (cm ² x m ²)	(Y _G -Y _F) ² (m ²)	I (cm ² x m ²)
		a (cm)	x	b (cm)								
Chapa de quilla horizontal	1	60.0	x	1.4	84.0	0.007	0.588	0.004	0.014	0.001	177.871	14941.129
Chapa de fondo	1	990.0	x	1.4	1386.0	0.007	9.702	0.068	0.014	0.023	177.871	246528.634
Chapa de pantoque	1	1.4	de	314.0	439.6	1.500	659.400	989.100	2.000	146.533	140.276	61811.818
Chapa de Doble Fondo	1	1250.0	x	1.3	1625.0	1.996	3242.688	6470.783	0.013	0.023	128.784	209274.347
Chapa de Cubierta Principal Carga	1	1250.0	x	0.9	1125.0	8.996	10119.938	91033.898	0.009	0.008	18.908	21271.308
Chapa de Cubierta Superior Carga	1	1250.0	x	0.9	1125.0	15.096	16982.438	256358.385	0.009	0.008	3.068	3451.967
Chapa de 1ª Cubierta Pasaje(Resist.)	1	1250.0	x	0.7	875.0	18.747	16403.188	307502.354	0.007	0.004	29.189	25540.406
Chapa de 2ª Cubierta Pasaje	1	1250.0	x	0.7	875.0	21.615	18913.125	408807.197	0.007	0.004	68.413	59860.977
Chapa de 1ª Cubierta de Tripulación	1	1250.0	x	0.7	875.0	24.715	21625.625	534477.322	0.007	0.004	129.304	113140.918
Chapa de 2ª Cubierta de Tripulación	1	1250.0	x	0.7	875.0	27.615	24163.125	667264.697	0.007	0.004	203.667	178208.444
Chapa de Cubierta Techo	1	1250.0	x	0.7	875.0	30.515	26700.625	814769.572	0.007	0.004	294.850	257993.470
Chapa del Costado 1	1	1.1	x	235.0	258.5	3.175	820.738	2605.842	2.350	118.964	103.405	26849.092
Chapa del Costado 2	1	1.1	x	240.0	264.0	5.550	1465.200	8131.860	2.400	126.720	60.744	16163.008
Chapa del Costado 3	1	0.9	x	240.0	216.0	7.950	1717.200	13651.740	2.400	103.680	29.093	6387.814
Chapa del Costado 4	1	0.9	x	240.0	216.0	9.625	2079.000	20010.375	2.400	103.680	13.830	3090.867
Chapa del Costado 5	1	0.9	x	240.0	216.0	12.750	2754.000	35113.500	2.400	103.680	0.353	179.844
Chapa del Costado 6	1	0.9	x	240.0	216.0	15.150	3272.400	49576.860	2.400	103.680	3.262	808.340
Chapa del Costado 7	1	0.9	x	240.0	216.0	17.550	3790.800	66528.540	2.400	103.680	17.692	3925.155
Chapa del Costado 8	1	0.7	x	145.0	101.5	19.475	1976.713	38496.476	1.450	17.784	37.591	3833.317
Chapa del Costado 9	1	0.7	x	145.0	101.5	20.925	2123.888	44442.346	1.450	17.784	57.474	5851.435
Chapa del Costado 10	1	0.7	x	155.0	108.5	22.425	2433.113	54562.548	1.550	21.723	82.468	8969.497



Ropax 4000 TPM

Resistencia estructural

Chapa del Costado 11	1	0.7	x	155.0	108.5	23.975	2601.288	62365.868	1.550	21.723	113.022	12284.625
Chapa del Costado 12	1	0.7	x	145.0	101.5	25.475	2585.713	65871.026	1.450	17.784	147.166	14955.103
Chapa del Costado 13	1	0.7	x	145.0	101.5	26.925	2732.888	73582.996	1.450	17.784	184.449	18739.322
Chapa del Costado 14	1	0.7	x	145.0	101.5	28.375	2880.063	81721.773	1.450	17.784	225.937	22950.348
Chapa del Costado 15	1	0.7	x	145.0	101.5	29.825	3027.238	90287.358	1.450	17.784	271.630	27588.182
Longitudinales del Fondo	12	1.0	x	24.0	388.8	0.147	57.154	8.402	0.240	1.866	174.156	67713.666
Longitudinales del Doble Fondo	15	1.0	x	22.0	435.0	1.866	811.710	1514.651	0.220	1.755	131.740	57308.734
Longitudinales de Cta Principal Carga	16	1.0	x	20.0	409.6	8.881	3637.658	32306.037	0.200	1.365	19.917	8159.244
Longitudinales de Cta Superior Carga	16	1.0	x	20.0	409.6	14.981	6136.218	91926.676	0.200	1.365	2.680	1099.250
Longitudinales de 1ª Cta de Pasaje	16	0.7	x	10.0	139.8	18.691	2613.680	48850.977	0.100	0.117	28.587	3997.732
Longitudinales de 2ª Cta de Pasaje	16	0.7	x	10.0	139.8	21.591	3019.216	65186.373	0.100	0.117	68.008	9510.335
Longitudinales de 1ª Cta de Tripulación	16	0.7	x	10.0	139.8	24.691	3452.720	85249.371	0.100	0.117	128.747	18004.141
Longitudinales de 2ª Cta de Tripulación	16	0.7	x	10.0	139.8	27.591	3858.256	106451.199	0.100	0.117	202.968	28383.176
Longitudinales de Cta. Techo	16	0.7	x	10.0	139.8	30.491	4263.792	130005.135	0.100	0.117	294.009	41114.319
Esloras de Cta Principal Carga	Alma	3	0.7	x	30.0	63.0	8.850	557.550	4934.318	0.300	0.473	1272.717
	Ala		12.0	x	0.7	25.2	8.997	226.712	2039.613	0.007	0.000	476.258
Esloras de Cta Superior Carga	Alma	3	0.7	x	30.0	63.0	14.950	941.850	14080.658	0.300	0.473	163.002
	Ala		12.0	x	0.7	25.2	15.097	380.432	5743.189	0.007	0.000	77.412
Esloras de 1ª Cta de Pasaje	Alma	3	0.6	x	15.0	27.0	18.675	504.225	9416.402	0.150	0.051	28.422
	Ala		7.5	x	0.6	13.5	18.747	253.085	4744.575	0.006	0.000	394.125
Esloras de 2ª Cta de Pasaje	Alma	3	0.6	x	15.0	27.0	21.575	582.525	12567.977	0.150	0.051	1829.367
	Ala		7.5	x	0.6	13.5	21.647	292.235	6326.000	0.006	0.000	930.729
Esloras de 1ª Cta de Tripulación	Alma	3	0.6	x	15.0	27.0	24.675	666.225	16439.102	0.150	0.051	128.396
	Ala		7.5	x	0.6	13.5	24.747	334.085	8267.589	0.006	0.000	1755.441



Esloras de 2ª Cta de Tripulación	Alma	3	0.6	x	15.0	27.0	27.575	744.525	20530.277	0.150	0.051	202.527	5468.271
	Ala		7.5	x	0.6	13.5	27.647	373.235	10318.814	0.006	0.000	204.581	2761.846
Esloras de Cta Techo Puente	Alma	3	0.6	x	15.0	27.0	30.475	822.825	25075.592	0.150	0.051	293.478	7923.945
	Ala		7.5	x	0.6	13.5	30.547	412.385	12597.109	0.006	0.000	295.950	3995.320
Vagras laterales		4	1.0	x	200.0	800.0	1.000	800.000	800.000	2.000	266.667	152.370	122162.435
Vagra central		1	0.7	x	200.0	130.0	1.000	130.000	130.000	2.000	43.333	152.370	19851.396
Aligeramientos vagra central		1	-0.7	x	100.0	-65.0	1.000	-65.000	-65.000	1.000	-5.417	152.370	-9909.448
Aligeramientos vagras laterales		4	-1.0	x	100.0	-400.0	1.000	-400.000	-400.000	1.000	-33.333	152.370	-60981.217
TOTAL						15774.2		210487.969	4509667.522				1702295.732

DATOS OBTENIDOS;

- Área de la maestra; **A= 31548.4 cm²**
- Centro de gravedad; **Y_F= 13.344 m**
- Distancia del centro de gravedad a la cubierta resistente; **Y_C= 5.406 m**
- Inercia de la maestra; **I = 3404592 cm² x m²**
- Módulo de resistencia;
 - **SMF = 255144 cm² x m;**
 - **SMC = 629758 cm² x m**



COMPROBACIONES

MÍNIMOS;

- $ZR,MIN = n_1 C L^2 B (CB+0,7) k \cdot 10^{-6} = 8.25 \text{ m}^3$
- **$ZR,MIN = 82500 \text{ cm}^2 \times \text{m}$**
- $IYR = 3 Z'R,MIN L^{10-2} = 42.82 \text{ m}^4$
- **$IYR = 428200 \text{ cm}^2 \times \text{m}^2$**

MÓDULO RESISTENTE E INERCIA CALCULADOS:

- $SMF = 255144 \text{ cm}^2 \times \text{m}$
- $I = 3404592 \text{ cm}^2 \times \text{m}^2$

COMPROBAMOS QUE CUMPLE CON LAS EXIGENCIAS:

- DEBE SER $ZR,MIN < SMMIN$

$$ZR,MIN = 82500 \text{ cm}^2 \times \text{m} < 255144 \text{ cm}^2 \times \text{m} \quad \textbf{CUMPLE}$$

- DEBE SER $IYR < I$

$$IYR = 428200 \text{ cm}^2 \times \text{m}^2 < 3404592 \text{ cm}^2 \times \text{m}^2 \quad \textbf{CUMPLE}$$



11. Momentos flectores y esfuerzos cortantes para cada situación de carga preliminar

En este apartado se va a proceder a la comprobación de la resistencia longitudinal del buque proyecto a partir de las diferentes situaciones de carga estudiadas de forma preliminar.

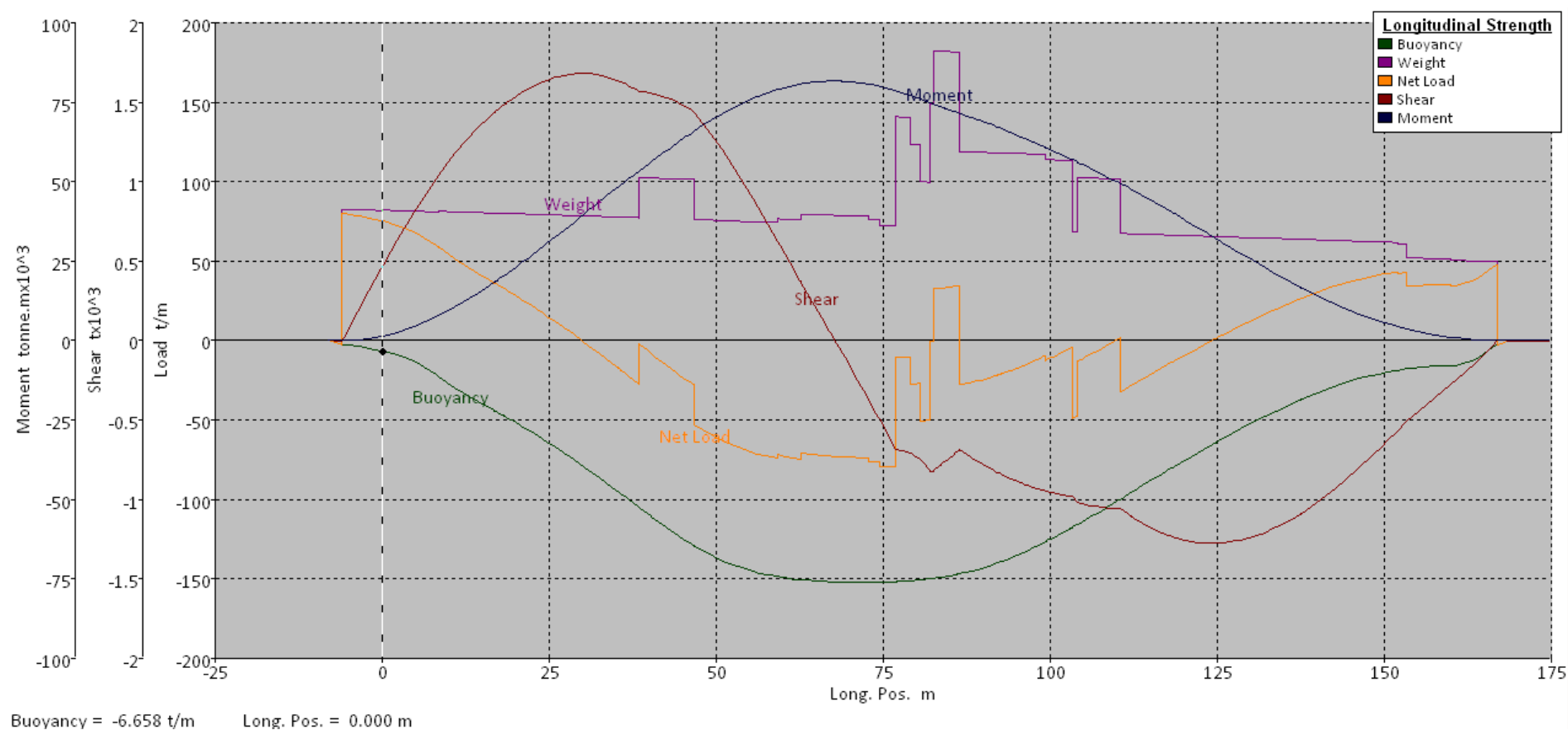
Una vez expuestas las diferentes situaciones de carga se comprobará que no se superen ninguna de las solicitaciones admisibles. Las distintas situaciones de carga y los resultados de análisis de resistencia longitudinal se exponen a continuación.

**Plena carga Saliendo de puerto**

Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m
Pax	1	100,000	100,000	86,170	0,000	22,500
Trip	1	4,000	4,000	86,170	0,000	25,450
Viveres	1	30,000	30,000	83,700	0,000	20,200
Cargos y pertrechos	1	20,000	20,000	92,680	0,000	22,690
Carga cubierta principal	1	1347,250	1347,250	65,800	0,000	12,500
Carga cubierta superior	1	425,250	425,250	75,000	0,000	17,430
Elementos sueltos est	1	30,000	30,000	80,000	0,000	14,350
Lightship	1	10282,000	10282,000	75,850	0,000	11,460
HFO_Alm1	100%	154,190	154,190	89,600	-3,645	3,755
HFO_Alm2	100%	154,200	154,200	89,600	3,645	3,755
HFO_Alm3	100%	154,200	154,200	96,000	-3,645	3,755
HFO_Alm4	100%	154,200	154,200	96,000	3,645	3,755
HFO_Sed1	100%	108,776	108,776	84,200	-3,740	3,755
HFO_Sed2	100%	108,776	108,776	84,200	3,740	3,755
HFO_UD1	100%	65,648	65,648	84,425	-3,520	6,755
HFO_UD2	100%	65,648	65,648	84,425	3,520	6,755
HFO_Alm5	100%	90,572	90,572	101,215	-3,400	3,755
HFO_Alm6	100%	90,572	90,572	101,215	3,400	3,755
MDF_Alm1	100%	109,321	109,321	107,200	-2,905	3,755
MDF_Alm2	100%	109,321	109,321	107,200	2,905	3,755
MDF_Sed1	100%	43,512	43,512	78,650	-5,480	3,755
MDF_Sed2	100%	43,512	43,512	78,650	5,480	3,755
MDF_UD1	100%	19,320	19,320	77,950	-5,480	6,755
MDF_UD2	100%	19,320	19,320	77,950	5,480	6,755
Aceite_Ret1	100%	7,244	7,244	66,000	-6,195	1,650
Aceite_Ret2	100%	7,244	7,244	66,000	-3,145	1,650
Aceite_Ret3	100%	7,244	7,244	66,000	3,145	1,650
Aceite_Ret4	100%	7,244	7,244	66,000	6,195	1,650
Aceite_Alm	100%	21,356	21,356	65,700	0,000	1,280
Aceite_Sucio	100%	19,289	19,289	71,600	0,000	1,280
Agua dulce1	100%	105,210	105,210	42,575	-2,100	3,505
Agua dulce1	100%	105,210	105,210	42,575	2,100	3,505
Antiheeling1	50%	272,269	136,135	81,588	-11,427	5,275
Antiheeling2	50%	272,269	136,135	81,588	11,427	5,275
BW_1	0%	211,096	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_2	0%	211,096	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_3	0%	108,846	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_4	0%	108,846	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_5	0%	131,648	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_6	0%	131,648	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_7	0%	146,833	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_8	0%	146,833	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_9	0%	100,897	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_10	0%	100,897	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_11	0%	41,426	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_12	0%	41,426	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_13	0%	67,748	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_14	0%	67,748	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_15	0%	109,519	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_16	0%	161,475	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_17	0%	161,475	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_19	0%	102,336	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_20	0%	102,336	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_18	0%	109,519	0,000	0,000	0,000	0,000
Total Loadcase			14281,899	76,341	0,000	10,805



Gráfica resistencia longitudinal: Plena carga – Salida de puerto.

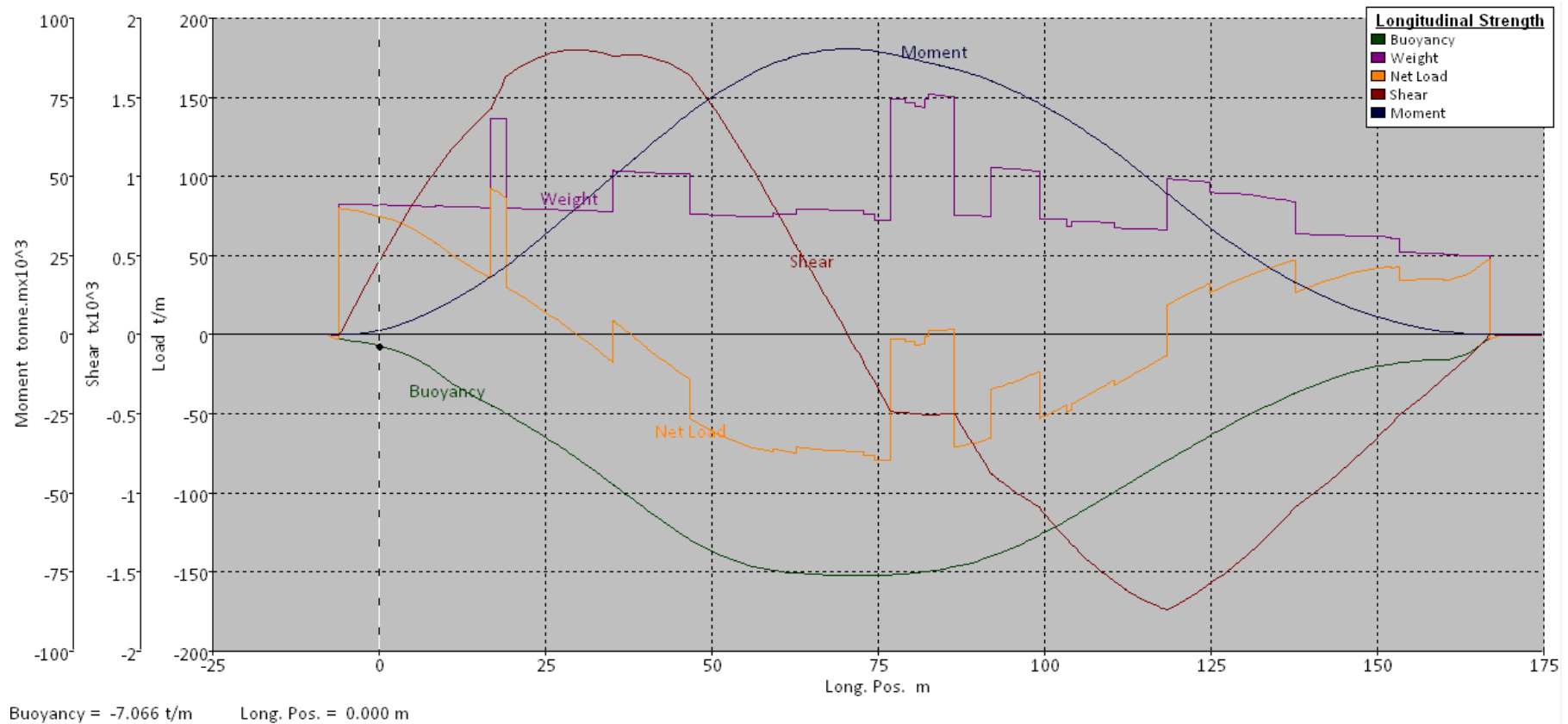


**Plena carga Llegando a puerto**

Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m
Pax	1	100,000	100,000	86,170	0,000	22,500
Trip	1	4,000	4,000	86,170	0,000	25,450
Viveres	1	30,000	30,000	83,700	0,000	20,200
Cargos y pertrechos	1	20,000	20,000	92,680	0,000	22,690
Carga cubierta principal	1	1347,250	1347,250	65,800	0,000	12,500
Carga cubierta superior	1	425,250	425,250	75,000	0,000	17,430
Elementos sueltos est	1	30,000	30,000	80,000	0,000	14,350
Lightship	1	10282,000	10282,000	75,850	0,000	11,460
HFO_Alm1	10%	154,190	15,419	89,600	-3,645	2,180
HFO_Alm2	10%	154,200	15,420	89,600	3,645	2,180
HFO_Alm3	10%	154,200	15,420	96,000	-3,645	2,180
HFO_Alm4	10%	154,200	15,420	96,000	3,645	2,180
HFO_Alm5	10%	90,572	9,057	101,215	-3,400	2,180
HFO_Alm6	10%	90,572	9,057	101,215	3,400	2,180
HFO_Sed1	10%	108,776	10,878	84,200	-3,740	2,180
HFO_Sed2	10%	108,776	10,878	84,200	3,740	2,180
HFO_UD1	10%	65,648	6,565	84,425	-3,520	5,630
HFO_UD2	10%	65,648	6,565	84,425	3,520	5,630
MDF_Alm1	10%	109,321	10,932	107,200	-2,905	2,180
MDF_Alm2	10%	109,321	10,932	107,200	2,905	2,180
MDF_Sed1	10%	43,512	4,351	78,650	-5,480	2,180
MDF_Sed2	10%	43,512	4,351	78,650	5,480	2,180
MDF_UD1	10%	19,320	1,932	77,950	-5,480	5,630
MDF_UD2	10%	19,320	1,932	77,950	5,480	5,630
Aceite_Ret1	100%	7,244	7,244	66,000	-6,195	1,650
Aceite_Ret2	100%	7,244	7,244	66,000	-3,145	1,650
Aceite_Ret3	100%	7,244	7,244	66,000	3,145	1,650
Aceite_Ret4	100%	7,244	7,244	66,000	6,195	1,650
Aceite_Alm	100%	21,356	21,356	65,700	0,000	1,280
Aceite_Sucio	100%	19,289	19,289	71,600	0,000	1,280
Agua dulce1	100%	105,210	105,210	42,575	-2,100	3,505
Agua dulce1	100%	105,210	105,210	42,575	2,100	3,505
Antiheeling1	50%	272,269	136,135	81,588	11,427	5,275
Antiheeling2	50%	272,269	136,135	81,588	11,427	5,275
BW_1	100%	211,096	211,096	81,579	-5,367	1,012
BW_2	100%	211,096	211,096	81,579	5,367	1,012
BW_3	100%	108,846	108,846	95,570	-3,697	1,021
BW_4	100%	108,846	108,846	95,570	3,697	1,021
BW_5	0%	131,648	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_6	0%	131,648	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_7	100%	146,833	146,833	131,005	-1,887	3,563
BW_8	100%	146,833	146,833	131,005	1,887	3,563
BW_9	100%	100,897	100,897	121,578	-2,568	3,523
BW_10	100%	100,897	100,897	121,578	2,568	3,523
BW_11	100%	41,426	41,426	36,800	-2,105	3,505
BW_12	100%	41,426	41,426	36,800	2,105	3,505
BW_13	100%	67,748	67,748	18,000	-5,580	6,505
BW_14	100%	67,748	67,748	18,000	5,580	6,505
BW_15	0%	109,519	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_16	0%	161,475	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_17	0%	161,475	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_19	0%	102,336	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_20	0%	102,336	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_18	0%	109,519	0,000	0,000	0,000	0,000
Total Loadcase			14293,614	76,229	0,000	10,645



Gráfica resistencia longitudinal: Plena carga – Llegada a puerto.

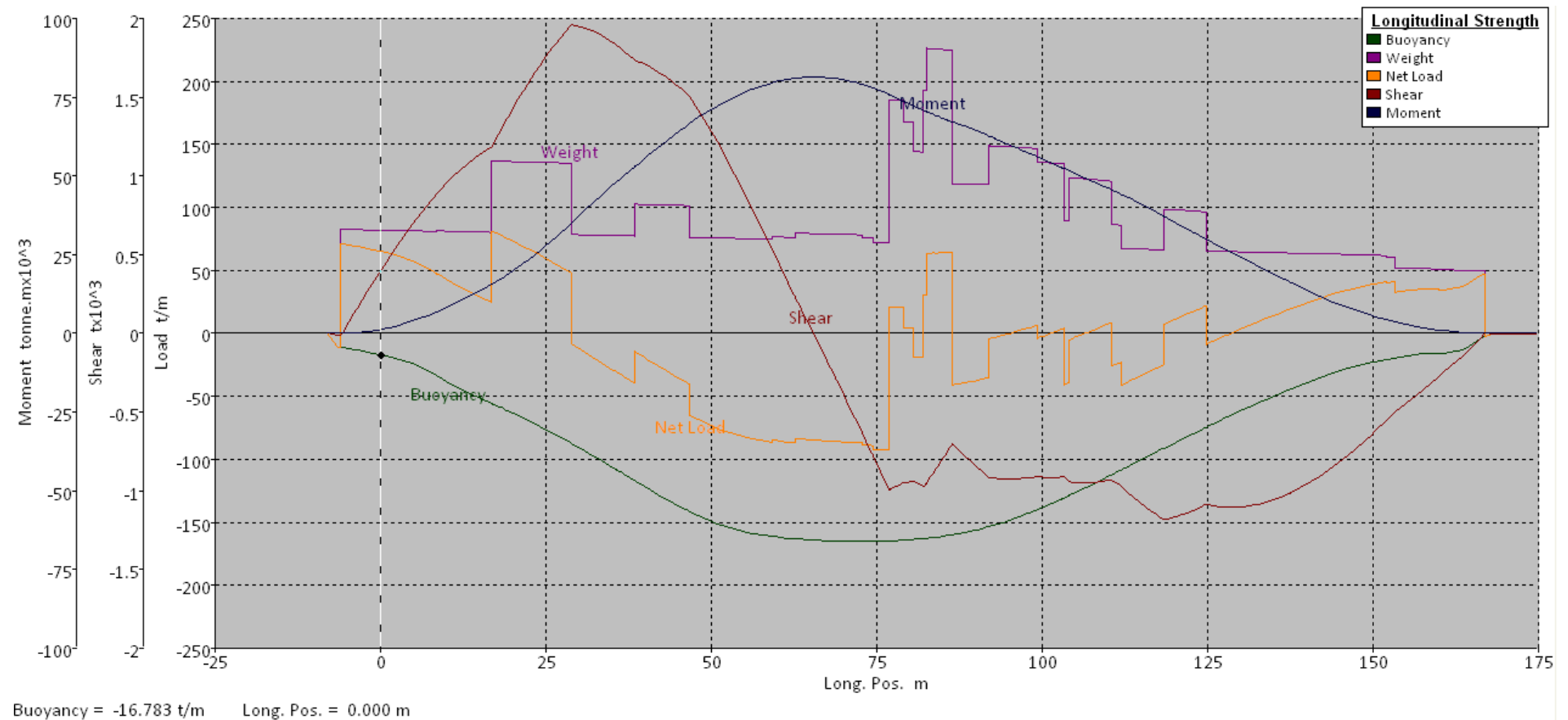


Sin carga Saliendo de puerto

Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m
Pax	1	100,000	100,000	86,170	0,000	22,500
Trip	1	4,000	4,000	86,170	0,000	25,450
Viveres	1	30,000	30,000	83,700	0,000	20,200
Cargos y pertrechos	1	20,000	20,000	92,680	0,000	22,690
Carga cubierta principal	0	1347,250	0,000	65,800	0,000	12,500
Carga cubierta superior	0	425,250	0,000	75,000	0,000	17,430
Elementos sueltos est	1	30,000	30,000	80,000	0,000	14,350
Lightship	1	10282,000	10282,000	75,850	0,000	11,460
HFO_Alm1	100%	154,190	154,190	89,600	-3,645	3,755
HFO_Alm2	100%	154,200	154,200	89,600	3,645	3,755
HFO_Alm3	100%	154,200	154,200	96,000	-3,645	3,755
HFO_Alm4	100%	154,200	154,200	96,000	3,645	3,755
HFO_Alm5	100%	90,572	90,572	101,215	-3,400	3,755
HFO_Alm6	100%	90,572	90,572	101,215	3,400	3,755
HFO_Sed1	100%	108,776	108,776	84,200	-3,740	3,755
HFO_Sed2	100%	108,776	108,776	84,200	3,740	3,755
HFO_UD1	100%	65,648	65,648	84,425	-3,520	6,755
HFO_UD2	100%	65,648	65,648	84,425	3,520	6,755
MDF_Alm1	100%	109,321	109,321	107,200	-2,905	3,755
MDF_Alm2	100%	109,321	109,321	107,200	2,905	3,755
MDF_Sed1	100%	43,512	43,512	78,650	-5,480	3,755
MDF_Sed2	100%	43,512	43,512	78,650	5,480	3,755
MDF_UD1	100%	19,320	19,320	77,950	-5,480	6,755
MDF_UD2	100%	19,320	19,320	77,950	5,480	6,755
Aceite_Ret1	100%	7,244	7,244	66,000	-6,195	1,650
Aceite_Ret2	100%	7,244	7,244	66,000	-3,145	1,650
Aceite_Ret3	100%	7,244	7,244	66,000	3,145	1,650
Aceite_Ret4	100%	7,244	7,244	66,000	6,195	1,650
Aceite_Alm	100%	21,356	21,356	65,700	0,000	1,280
Aceite_Sucio	100%	19,289	19,289	71,600	0,000	1,280
Agua dulce1	100%	105,210	105,210	42,575	-2,100	3,505
Agua dulce1	100%	105,210	105,210	42,575	2,100	3,505
Antiheeling1	50%	272,269	136,135	81,588	-11,427	5,275
Antiheeling2	50%	272,269	136,135	81,588	11,427	5,275
BW_1	100%	211,096	211,096	81,579	-5,367	1,012
BW_2	100%	211,096	211,096	81,579	5,367	1,012
BW_3	100%	108,846	108,846	95,570	-3,697	1,021
BW_4	100%	108,846	108,846	95,570	3,697	1,021
BW_5	100%	131,648	131,648	105,418	-2,548	1,050
BW_6	100%	131,648	131,648	105,418	2,548	1,050
BW_7	0%	146,833	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_8	0%	146,833	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_9	100%	100,897	100,897	121,578	-2,568	3,523
BW_10	100%	100,897	100,897	121,578	2,568	3,523
BW_11	0%	41,426	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_12	0%	41,426	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_13	100%	67,748	67,748	18,000	-5,580	6,505
BW_14	100%	67,748	67,748	18,000	5,580	6,505
BW_15	100%	109,519	109,519	24,000	-8,315	6,505
BW_16	100%	161,475	161,475	24,000	-3,725	6,505
BW_17	100%	161,475	161,475	24,000	3,725	6,505
BW_19	0%	102,336	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_20	0%	102,336	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_18	100%	109,519	109,519	24,000	8,315	6,505
Total Loadcase			14291,859	76,459	0,000	9,523



Gráfica resistencia longitudinal: Lastre – Salida de puerto.

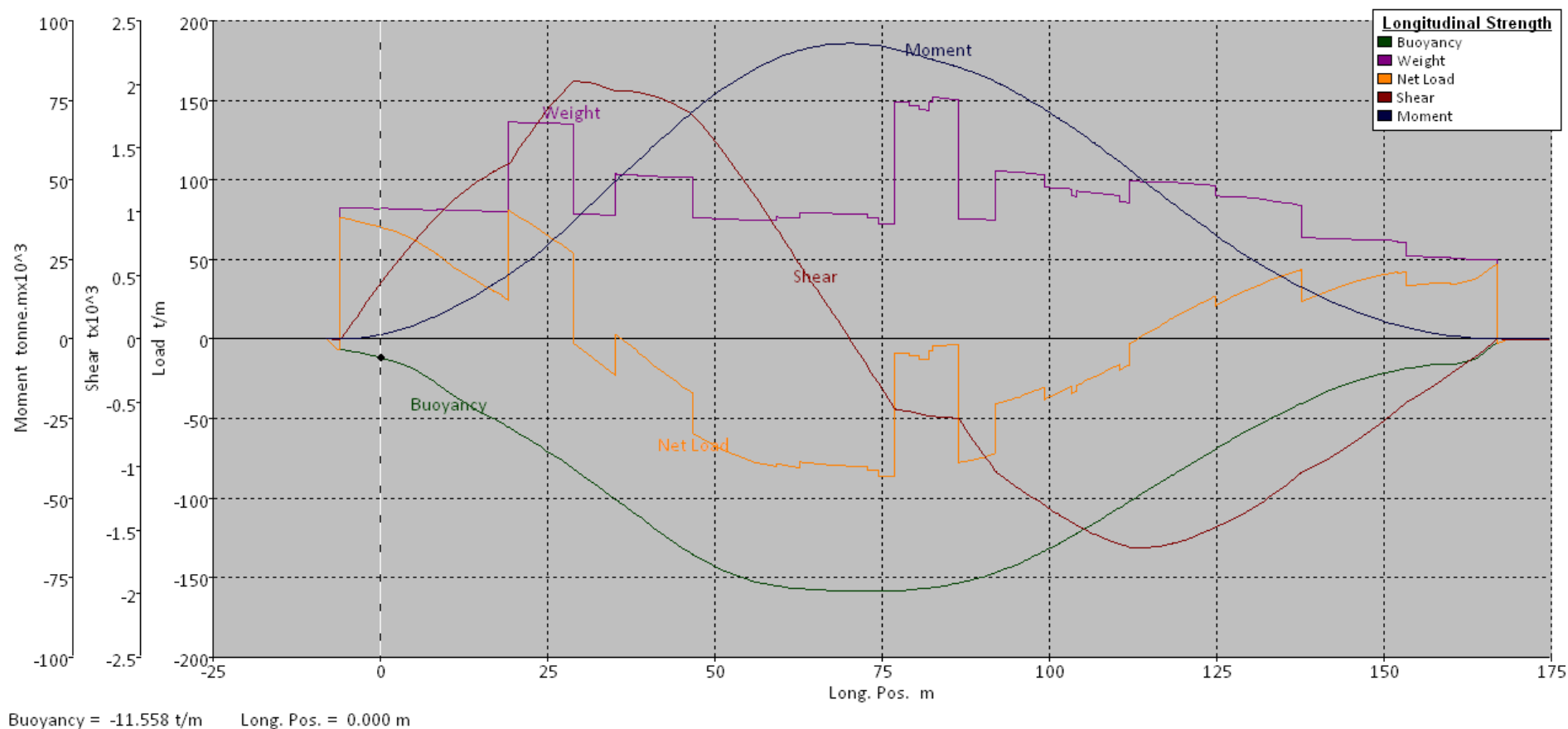


**Sin carga Llegando de puerto**

Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m
Pax	1	100,000	100,000	86,170	0,000	22,500
Trip	1	4,000	4,000	86,170	0,000	25,450
Viveres	1	30,000	30,000	83,700	0,000	20,200
Cargos y pertrechos	1	20,000	20,000	92,680	0,000	22,690
Carga cubierta principal	0	1347,250	0,000	65,800	0,000	12,500
Carga cubierta superior	0	425,250	0,000	75,000	0,000	17,430
Elementos sueltos est	1	30,000	30,000	80,000	0,000	14,350
Lightship	1	10282,000	10282,000	75,850	0,000	11,460
HFO_Alm1	10%	154,190	15,419	89,600	-3,645	2,180
HFO_Alm2	10%	154,200	15,420	89,600	3,645	2,180
HFO_Alm3	10%	154,200	15,420	96,000	-3,645	2,180
HFO_Alm4	10%	154,200	15,420	96,000	3,645	2,180
HFO_Alm5	10%	90,572	9,057	101,215	-3,400	2,180
HFO_Alm6	10%	90,572	9,057	101,215	3,400	2,180
HFO_Sed1	10%	108,776	10,878	84,200	-3,740	2,180
HFO_Sed2	10%	108,776	10,878	84,200	3,740	2,180
HFO_UD1	10%	65,648	6,565	84,425	-3,520	5,630
HFO_UD2	10%	65,648	6,565	84,425	3,520	5,630
MDF_Alm1	10%	109,321	10,932	107,200	-2,905	2,180
MDF_Alm2	10%	109,321	10,932	107,200	2,905	2,180
MDF_Sed1	10%	43,512	4,351	78,650	-5,480	2,180
MDF_Sed2	10%	43,512	4,351	78,650	5,480	2,180
MDF_UD1	10%	19,320	1,932	77,950	-5,480	5,630
MDF_UD2	10%	19,320	1,932	77,950	5,480	5,630
Aceite_Ret1	100%	7,244	7,244	66,000	-6,195	1,650
Aceite_Ret2	100%	7,244	7,244	66,000	-3,145	1,650
Aceite_Ret3	100%	7,244	7,244	66,000	3,145	1,650
Aceite_Ret4	100%	7,244	7,244	66,000	6,195	1,650
Aceite_Alm	100%	21,356	21,356	65,700	0,000	1,280
Aceite_Sucio	100%	19,289	19,289	71,600	0,000	1,280
Agua dulce1	100%	105,210	105,210	42,575	-2,100	3,505
Agua dulce1	100%	105,210	105,210	42,575	2,100	3,505
Antiheeling1	50%	272,269	136,135	81,588	-11,427	5,275
Antiheeling2	50%	272,269	136,135	81,588	11,427	5,275
BW_1	100%	211,096	211,096	81,579	-5,367	1,012
BW_2	100%	211,096	211,096	81,579	5,367	1,012
BW_3	100%	108,846	108,846	95,570	-3,697	1,021
BW_4	100%	108,846	108,846	95,570	3,697	1,021
BW_5	100%	131,648	131,648	105,418	-2,548	1,050
BW_6	100%	131,648	131,648	105,418	2,548	1,050
BW_7	100%	146,833	146,833	131,005	-1,887	3,563
BW_8	100%	146,833	146,833	131,005	1,887	3,563
BW_9	100%	100,897	100,897	121,578	-2,568	3,523
BW_10	100%	100,897	100,897	121,578	2,568	3,523
BW_11	100%	41,426	41,426	36,800	-2,105	3,505
BW_12	100%	41,426	41,426	36,800	2,105	3,505
BW_13	0%	67,748	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_14	0%	67,748	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_15	100%	109,519	109,519	24,000	-8,315	6,505
BW_16	100%	161,475	161,475	24,000	-3,725	6,505
BW_17	100%	161,475	161,475	24,000	3,725	6,505
BW_19	100%	102,336	102,336	115,200	-2,600	3,505
BW_20	100%	102,336	102,336	115,200	2,600	3,505
BW_18	100%	109,519	109,519	24,000	8,315	6,505
Total Loadcase			13395,574	76,962	0,000	9,820



Gráfica resistencia longitudinal: Lastre – Entrada a puerto.

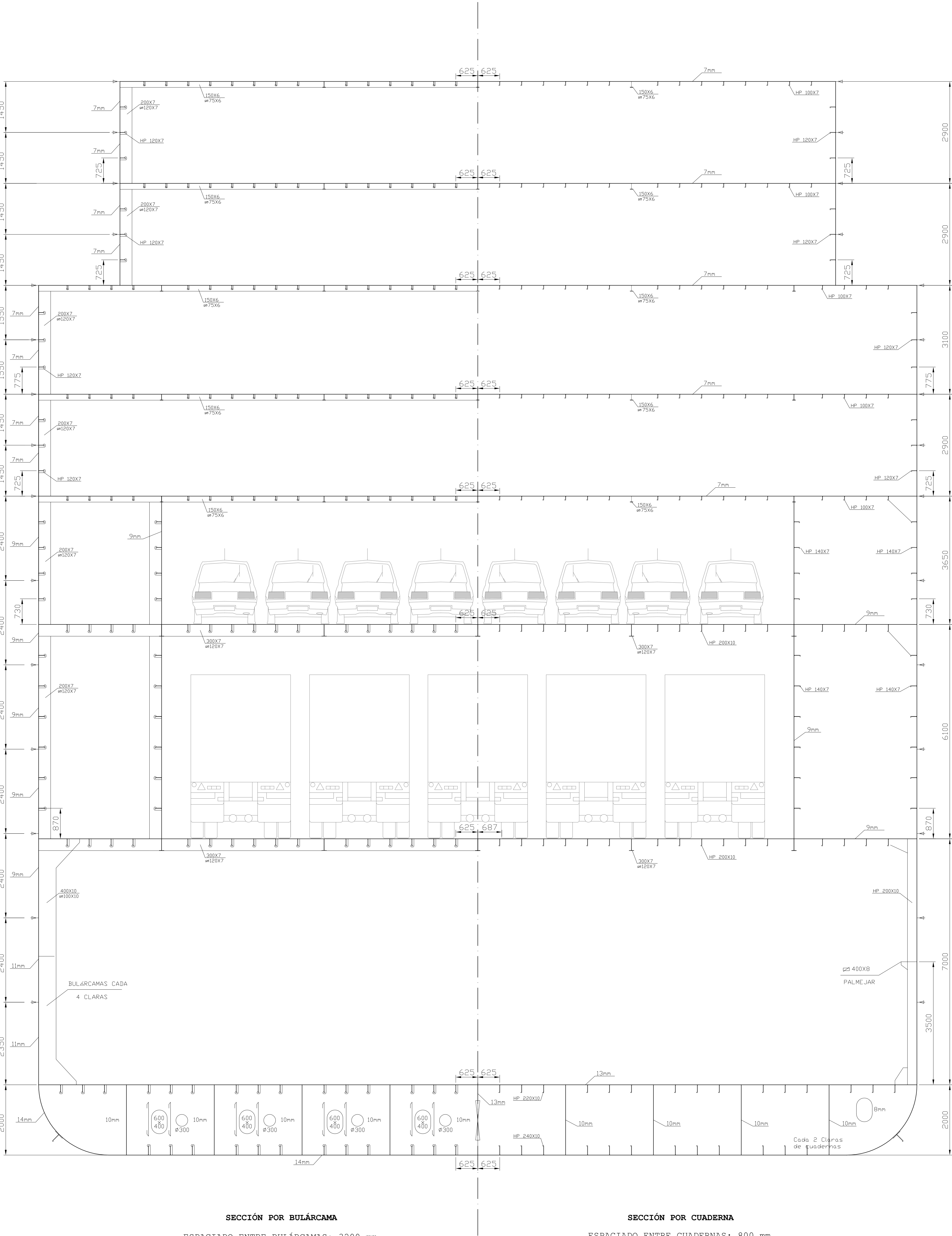




El siguiente cuadro contiene un resumen de los momentos máximos en cada situación de carga preliminar, así como las cortantes máximas:

Resistencia longitudinal	Salida Plena carga	Llegada Plena carga	Salida Lastre	Llegada Lastre
Sección Momento flector máximo (m)	67,73	70,45	65,26	70,44
Momento flector máximo (kNm)	800274	884815	797298	910127
Sección Esfuerzo cortante máximo (m.)	30,92	28,81	28,80	28,80
Esfuerzo cortante máximo (kN)	16457	17648	19242	19869

Como se puede comprobar en los datos obtenidos nuestro buque siempre se encuentra en situación de quebranto y nunca se supera el momento flector máximo admisible de quebranto en aguas tranquilas, el cual hemos determinamos anteriormente, y es igual a 1443557 kNm.



SECCIÓN POR BULÁRCAMA

ESPACIADO ENTRE BULÁRCAMAS: 3200 mm.

SECCIÓN POR CUADERNA

ESPACIADO ENTRE CUADERNAS: 800 mm.

CARACTERÍSTICAS	
ESLORA TOTAL APROX.	174 m.
ESLORA ENTRE PERPENDICULARES	160 m.
MANGA	25 m.
PUNTAL A LA CTA PRINCIPAL	9 m.
PUNTAL A LA CTA SUPERIOR	15,1 m.
CALADO DE PROYECTO	6 m.

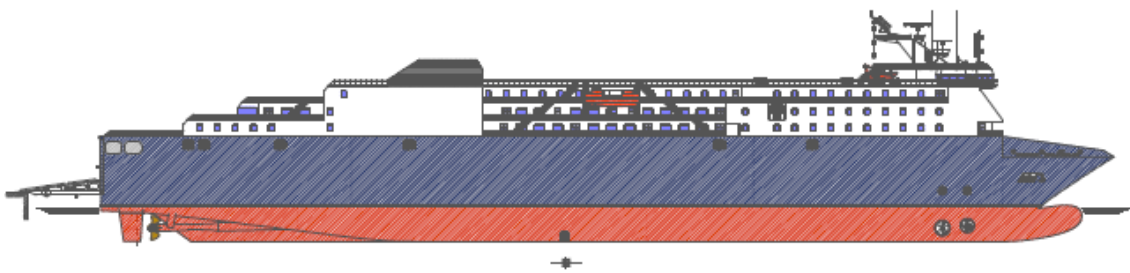
		ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS NAVALES	
		PROYECTO FIN DE CARRERA	
TÍTULO DE INGENIERO		NÚMERO DE PROYECTO	
ROPAX 4000 TPM		PROYECTO 034	
DENOMINACIÓN		FORMATO	ESCALA
CUADERNA MAESTRA		DIN-A1	1/50
AUTOR		ALUMNO	PLANO Nº1
JOSÉ MARÍA RIOLA RODRÍGUEZ		FRANCISCO SASTRE GUASCH	1/1



Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales

Proyecto Fin de Carrera nº034

ROPAX 4000 TPM



Cuaderno 11

Peso y centro de gravedad del buque en rosca

Tutor:

José María Riola Rodríguez

Alumno:

Francisco Sastre Guasch



Índice

1. INTRODUCCIÓN	3
2. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO.....	4
3. PESO Y CENTRO DE GRAVEDAD DEL ACERO	5
3.1. Acero continuo	5
3.1.1. Acero continuo longitudinal.....	5
3.1.2. Acero continuo transversal	6
3.1.3. Peso total del acero continuo y centro de gravedad.	8
3.2. Acero local.....	10
3.2.1. Mamparos transversales	10
3.2.2. Piques de proa y popa	10
3.2.3. Superestructura.....	11
3.2.4. Guardacalor y chimenea	11
3.2.5. Pesos adicionales en cámara de máquinas	11
3.2.6. Resumen pesos locales de acero.....	12
3.3. Peso total del acero.....	12
4. PESO DE LA MAQUINARIA.....	13
5. PESO DE EQUIPOS, SERVICIOS Y HABILITACIÓN.....	14
6. RESULTADOS	15



1. INTRODUCCIÓN

Una vez hallados los elementos que conforman la cuaderna maestra, podemos estimar el peso total y el centro de gravedad del acero estructural. Si a dicho peso le añadimos el peso de la maquinaria, habilitación y equipos, podremos obtener el peso en rosca del buque proyecto y su centro de gravedad. El valor hallado, es el resultado de un cálculo aproximado, para obtener el valor real se necesita realizar la prueba de estabilidad del buque.

Por último compararemos los datos del peso en rosca y centro de gravedad con los obtenidos de forma preliminar en el cuaderno de dimensionamiento.



2. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

El procedimiento seguido en el cálculo de los pesos y posiciones de las partidas que conforman el buque en rosca es el siguiente:

1. En primer lugar, se realiza una estimación del peso de la estructura, WST , y su centro de gravedad por el método propuesto por D. M. Meizoso y D. J.L. García Garcés en su libro *Desplazamiento: Cálculo Iterativo del Peso en Rosca y Peso Muerto*. Se distingue entre:

- Peso del acero continuo, tanto longitudinal como transversal. Se utiliza el método de Aldwinckle para su cálculo.
- Pesos locales de acero. Incluye mamparos transversales, piques de proa y popa, guardacalor y chimenea, superestructuras, etc. Se utilizarán diversas fórmulas que dependen del tipo de buque y del espacio considerado.

Al peso obtenido en el paso anterior se le suman unas cantidades por errores de laminación, así como el peso de las soldaduras y un margen.

2. A continuación, se calcula el peso de la maquinaria, WQ , y su correspondiente centro de gravedad, mediante un desglose detallado de los elementos que conforman esta partida, indicando pesos y posiciones de los mismos.

3. Por último, se calculan tanto el peso como el centro de gravedad del equipo y la habilitación.

En los pasos 2 y 3 se han utilizado los pesos reales de aquellas partidas conocidas o se han llevado a cabo estimaciones a partir de los valores de buques similares (no se disponía del desglose del peso en rosca del buque base) o de las fórmulas expuestas en el libro anteriormente mencionado de D. M. Meizoso y D. J.L. García Garcés.



3. PESO Y CENTRO DE GRAVEDAD DEL ACERO

Dadas las discontinuidades, en cuanto a su forma, que presenta la superestructura a lo largo de la eslora, se ha decidido aplicar el método de Aldwinckle, sólo hasta la cubierta resistente.

Por tanto, consideraremos los pesos por encima de dicha cubierta (*“toda la habilitación”*) como pesos locales y serán determinados en el apartado 3.2.

3.1. Acero continuo

Como se ha comentado previamente, para el cálculo del peso del acero continuo se utilizará el método de Aldwinckle, descrito en el libro “Ecuación del desplazamiento. Peso en rosca y peso muerto” por los profesores D. Manuel Meizoso Fernández y D. José Luis García Garcés.

3.1.1. Acero continuo longitudinal

El método de Aldwinckle extrapola el peso del acero continuo a lo largo del buque a partir del peso en la maestra.

Como se comentó anteriormente, este método se aplica desde la línea base hasta la cubierta resistente. Por tanto, el perímetro, el área y el peso de las secciones son los calculados hasta la primera cubierta de pasaje.

En la cuaderna maestra se obtiene el peso por unidad de longitud, $W_L(\text{Maestra})$, multiplicando el área de los elementos longitudinales de la sección maestra por la densidad del acero. En cualquier otra sección i , el peso por unidad de longitud, $W_L(i)$ se obtiene mediante la siguiente expresión;

$$W_L(i) = G(i)^{m(i)} \cdot W_L(\text{maestra}) \text{ (tons/m)}$$

Donde:

- $G(i) = \frac{\text{perímetro sección } i}{\text{perímetro sección maestra}}$
- $m(i)$; valor tabulado para cada sección, dado en el método de Aldwinckle y que depende del tipo de buque.
- $W_L(\text{maestra}) = A(\text{maestra}) \cdot \rho_{\text{acero}}$, donde;
 - $A(\text{maestra})$ es el área de los elementos longitudinales de la sección maestra.
 - $\rho_{\text{acero}} = 7,85 \text{ tons/m}^3$, densidad del acero 235.

En el cuaderno 10, se detalla la relación de elementos longitudinales de una mitad de la sección maestra y el área transversal de cada uno. Multiplicamos por dos la suma de todas las áreas para obtener el área total de la sección.



Ropax 4000 TPM

Peso y centro de gravedad del buque en rosca

- $A(\text{maestra}) = 31548,4\text{cm}^2 = 3,16\text{ m}^2$.
- $W_L(\text{maestra}) = A(\text{maestra}) \cdot \rho_{\text{acero}} = 24,8\text{ tons/m}$.

En la siguiente tabla puede observarse la distribución de pesos longitudinales por unidad de longitud que se ha obtenido tras aplicar el método de Aldwinckle.

Distribución de pesos longitudinales					
Sección	X(i) (m)	Perímetro (m)	G(i)	m(i)	W _L (i) (ton/m)
0	0,00	72,97	0,878	2,40	18,16
1	8,00	74,39	0,895	3,25	17,32
2	16,00	75,80	0,912	3,20	18,49
3	24,00	77,33	0,931	2,92	20,11
4	32,00	79,01	0,951	2,67	21,69
5	40,00	80,58	0,970	2,40	23,05
6	48,00	82,21	0,990	2,12	24,25
7	56,00	83,52	1,005	1,84	25,04
8	64,00	84,04	1,012	1,57	25,25
9	72,00	84,15	1,013	1,25	25,20
10	80,00	83,08	1,000	1,00	24,80
11	88,00	81,53	0,981	1,11	24,29
12	96,00	79,76	0,960	1,25	23,57
13	104,00	77,88	0,937	1,36	22,71
14	112,00	76,09	0,916	1,55	21,64
15	120,00	74,59	0,898	1,90	20,21
16	128,00	73,17	0,881	2,23	18,68
17	136,00	71,87	0,865	2,50	17,26
18	144,00	70,81	0,852	3,07	15,18
19	152,00	69,73	0,839	3,85	12,63
20	160,00	65,78	0,792	3,15	11,89

3.1.2. Acero continuo transversal

En el caso del peso transversal continuo también es necesario obtener el peso en la sección media, pero no es tan fácil como en el caso anterior, pues en caso de no disponer del escantillonado no existe formulación alguna para estimarlo, y sería necesario conocer el peso de un buque similar para aplicarle la misma relación que existe entre las superficies de las cuadernas maestras. Como se va a partir del escantillonado no se tendrá dicho problema para obtener el parámetro en cuestión.



Ropax 4000 TPM

Peso y centro de gravedad del buque en rosca

Debido a la posición de los elementos, hemos estimado el peso de cada uno de ellos y lo hemos distribuido homogéneamente en función de la separación de dichos elementos. De dicha forma hemos obtenido el peso de los elementos de acero transversal.

$$W_T = 18,76 \text{ tons. "En una clara de cuaderna de } 3,200\text{m"}$$

Dividiendo el valor obtenido entre la clara de bulárcamas (3,200m) obtenemos el peso de acero transversal por unidad de longitud:

$$W_T (\text{maestra}) = 5,86 \text{ tons/m.}$$

A partir del peso transversal de la maestra podemos obtener los correspondientes al resto de secciones transversales haciendo uso de la siguiente expresión:

$$W_T(i) = Q(i)^{p(i)} \cdot W_T(\text{maestra}) (\text{tons/m})$$

Donde:

- $G(i) = \frac{\text{area sección } i}{\text{area sección maestra}}$
- $p(i)$; valor tabulado para cada sección, dado en el método de Aldwinckle.

Distribución de pesos transversales					
Sección	X(i) (m)	Area (m ²)	Q(i)	p(i)	W _T (i) (ton/m)
0	0,00	297,82	0,691	0,50	4,87
1	8,00	317,90	0,738	0,65	4,81
2	16,00	341,60	0,793	0,78	4,89
3	24,00	366,86	0,852	0,87	5,10
4	32,00	391,94	0,910	0,94	5,36
5	40,00	413,40	0,960	0,99	5,63
6	48,00	427,28	0,992	1,00	5,81
7	56,00	432,60	1,004	1,00	5,89
8	64,00	433,54	1,007	1,00	5,90
9	72,00	434,94	1,010	1,00	5,92
10	80,00	430,74	1,000	1,00	5,86
11	88,00	424,54	0,986	1,00	5,78
12	96,00	412,74	0,958	1,00	5,62
13	104,00	394,94	0,917	1,00	5,37
14	112,00	383,34	0,890	1,00	5,22
15	120,00	354,34	0,823	0,98	4,84
16	128,00	327,54	0,760	0,94	4,53
17	136,00	294,74	0,684	0,87	4,21
18	144,00	252,54	0,586	0,78	3,86



Ropax 4000 TPM

Peso y centro de gravedad del buque en rosca

19	152,00	196,54	0,456	0,65	3,52
20	160,00	126,54	0,294	1,65	0,78

3.1.3. Peso total del acero continuo y centro de gravedad.

3.1.3.1. Determinación del peso total y de la abscisa del centro gravedad.

Hasta ahora hemos determinado los pesos por unidad de longitud del acero longitudinal y del acero transversal. Utilizando los cálculos pertinentes de la integración de los pesos mediante el sistema de integración por Simpson. Podemos estimar el peso total de acero continuo y la abscisa del centro de gravedad del peso de acero continuo.

Integración curva de pesos (MÉTODO SIMPSON)							
Sección	X(i) (m)	Factor Simpson (f)	W _L (i) (ton/m)	W _T (i) (ton/m)	W _{Total} (i) (ton/m)	f*W _{Total} (i)	f*W _{Total} (i)*X(i)
0	0,00	1,00	18,16	4,87	23,04	23,04	0,00
1	8,00	4,00	17,32	4,81	22,13	88,52	708,12
2	16,00	2,00	18,49	4,89	23,38	46,77	748,28
3	24,00	4,00	20,11	5,10	25,21	100,84	2420,20
4	32,00	2,00	21,69	5,36	27,05	54,10	1731,20
5	40,00	4,00	23,05	5,63	28,67	114,69	4587,68
6	48,00	2,00	24,25	5,81	30,07	60,13	2886,30
7	56,00	4,00	25,04	5,89	30,93	123,71	6927,76
8	64,00	2,00	25,25	5,90	31,15	62,30	3987,13
9	72,00	4,00	25,20	5,92	31,12	124,47	8961,70
10	80,00	2,00	24,80	5,86	30,66	61,32	4905,60
11	88,00	4,00	24,29	5,78	30,06	120,25	10582,04
12	96,00	2,00	23,57	5,62	29,18	58,37	5603,06
13	104,00	4,00	22,71	5,37	28,09	112,34	11683,83
14	112,00	2,00	21,64	5,22	26,86	53,71	6015,95
15	120,00	4,00	20,21	4,84	25,05	100,19	12022,40
16	128,00	2,00	18,68	4,53	23,21	46,43	5942,46
17	136,00	4,00	17,26	4,21	21,47	85,90	11682,07
18	144,00	2,00	15,18	3,86	19,05	38,10	5485,93
19	152,00	4,00	12,63	3,52	16,15	64,61	9821,47
20	160,00	1,00	11,89	0,78	12,66	12,66	2026,06
SUMA TOTAL						1552,44	118729,24
PESO TOTAL ACERO CONTINUO (Tons.)						4139,84	
ABSCISA C.D.G ACERO CONTINUO (m.)						76,48	



3.1.3.2. Determinación de la altura del centro gravedad.

Cálculo de la ordenada del centro de gravedad						
Sección	X(i) (m)	Z _G (i)	W _L (i) (ton/m)	W _T (i) (ton/m)	W _{Total} (i) (ton/m)	Z _G (i)*W _{Total} (i)
0	0,00	12,13	18,16	4,87	23,04	279,44
1	8,00	11,73	17,32	4,81	22,13	259,57
2	16,00	11,26	18,49	4,89	23,38	263,30
3	24,00	10,74	20,11	5,10	25,21	270,76
4	32,00	10,23	21,69	5,36	27,05	276,72
5	40,00	9,80	23,05	5,63	28,67	281,00
6	48,00	9,54	24,25	5,81	30,07	286,83
7	56,00	9,44	25,04	5,89	30,93	291,96
8	64,00	9,42	25,25	5,90	31,15	293,43
9	72,00	9,41	25,20	5,92	31,12	292,81
10	80,00	9,47	24,80	5,86	30,66	290,35
11	88,00	9,59	24,29	5,78	30,06	288,30
12	96,00	9,79	23,57	5,62	29,18	285,70
13	104,00	10,07	22,71	5,37	28,09	282,83
14	112,00	10,41	21,64	5,22	26,86	279,58
15	120,00	10,79	20,21	4,84	25,05	270,25
16	128,00	11,23	18,68	4,53	23,21	260,68
17	136,00	11,75	17,26	4,21	21,47	252,32
18	144,00	12,37	15,18	3,86	19,05	235,63
19	152,00	13,08	12,63	3,52	16,15	211,29
20	160,00	13,83	11,89	0,78	12,66	175,13
SUMA TOTAL					535,19	5627,86
ORDENADA C.D.G ACERO CONTINUO (m.)					10,52	



3.2. Acero local

El acero local incluye mamparos transversales, piques de proa y popa, guardacalor - chimenea, superestructuras, etc. Se utilizarán diversas fórmulas que dependen del tipo de buque y del espacio considerado.

3.2.1. Mamparos transversales

Este peso comprende los pesos del mamparo correspondiente y de sus refuerzos. Obtenemos ambos valores multiplicando los volúmenes de ambos por la densidad del acero utilizado (7,848 ton/m³).

Se ha supuesto un espesor de 10mm, dado que la mayoría de los mamparos limita con tanques. No se han considerado los mamparos de pique de proa ni de popa, dado que serán incluidos en la estimación del peso de pique correspondiente.

Mámparos	W(ton.)	X _G (m)	Z _G (m)
Mámparo 1	14,34	19,20	6,36
Mámparo 2	19,91	28,80	5,33
Mámparo 3	22,29	38,40	4,5
Mámparo 4	24,35	54,40	4,56
Mámparo 5	24,20	76,80	4,58
Mámparo 6	23,46	86,40	4,69
Mámparo 7	22,19	99,20	4,86
Mámparo 8	18,26	112,00	5,32
Mámparo 9	13,00	124,80	5,77
Mámparo 10	9,99	137,60	5,94
Total	191,99	73,74	5,05

3.2.2. Piques de proa y popa

La siguiente fórmula permite estimar el peso de los piques de proa y popa incluyendo los refuerzos estructurales y los mamparos que los limitan, que en el apartado anterior no fueron considerados:

$$W = 0,0538 \cdot V$$

Donde V es el volumen del pique en m³. El cálculo de la posición del centro de gravedad se llevará a cabo suponiendo una distribución de pesos en los piques homogénea en todo el volumen que ocupan.

Volumen (m ³)	W _T (tons)	X _G (m)	Z _G (m)
---------------------------	-----------------------	--------------------	--------------------



Ropax 4000 TPM

Peso y centro de gravedad del buque en rosca

Pique de popa	1391,85	74,88	166,75	10,47
Pique de proa	1039,00	55,90	-3,13	7,175
Total		130,78	94,14	9,06

3.2.3. Superestructura

Determinamos el peso de acero de la superestructura en función de su volumen suponiendo un ratio de 41kg de acero por m³:

$$W = 0,041 \cdot V$$

Cubierta	V(m ³)	W(ton.)	X _G (m)	Z _G (m)
1ª cub. Pasaje	9439,50	387,02	80,23	20,20
2ª cub. Pasaje	8955,28	367,17	92,45	23,20
1ª cub. Trip.	5489,70	225,08	99,23	26,20
2ª cub. Trip.	1102,00	45,18	143,22	29,10
Total		1024,45	91,56	22,99

3.2.4. Guardacalor y chimenea

Determinamos su peso en función de su volumen a partir de la siguiente expresión:

$$W = 0,13 \cdot V$$

	V(m ³)	W(ton.)	X _G (m)	Z _G (m)
Guardacalor y chimenea	1697,40	220,66	55,57	20,72

3.2.5. Pesos adicionales en cámara de máquinas

Esta partida considera el peso extra que supone el reforzado de la estructura de los espacios de máquinas. Para su cálculo se utiliza la fórmula:

$$W = 0,0395 \cdot V$$

Siendo "V" en m³ el volumen de la cámara de máquinas. Para la situación del centro de gravedad se ha considerado que la distribución del peso es homogénea a lo largo de la cámara de máquinas.

	V(m ³)	W(ton.)	X _G (m)	Z _G (m)
Peso zonas reforzadas CCMM	8550	337,73	57,62	4,50



3.2.6. Resumen pesos locales de acero

	W(ton.)	X _G (m)	Z _G (m)
Mamparos	191,99	73,74	5,05
Piques de proa y popa	130,78	94,14	9,06
Superestructura	1024,45	91,56	22,99
Peso zonas reforzadas CCMM	337,73	57,62	4,50
Guardacalor y chimenea	220,66	55,57	20,72
Total	1905,60	79,76	16,68

3.3. Peso total del acero

Agrupando todas las partidas anteriores, tanto de acero continuo como local, se obtiene como resultado el peso total del acero y la posición de su centro de gravedad.

	W(ton.)	X _G (m)	Z _G (m)
Acero continuo	4139,84	76,48	10,52
Acero local	1905,60	79,76	16,68
Total	6045,44	77,51	12,46

Al valor obtenido debemos sumarle un 2% debido a las soldaduras, otro 2% por errores de laminación y por ultimo otro 2% por margen de cálculo, es decir, un 6% adicional.

	W(ton.)	X _G (m)	Z _G (m)
Acero total	6045,44	77,51	12,46
Margen adicional	362,73	-	-
Total	6408,17	77,51	12,46



4. PESO DE LA MAQUINARIA

El peso de la maquinaria del buque se ha determinado, por un lado, a partir de determinadas expresiones expuestas en el libro "Desplazamiento. Cálculo iterativo del peso en rosca y peso muerto" y, por otro lado, a partir de valores conocidos en buques similares.

Maquinaria	W(ton.)	X _G (m)	Z _G (m)
MMPP	352,00	66,60	3,80
Engranajes	100,00	57,4	3,36
Líneas de ejes	170,00	29,13	2,70
Hélices	44,00	3,24	2,50
MMAA	108,00	47,40	6,20
PTO	8,00	52,86	3,60
Generador emergencia	17,00	44,91	26,15
Calederetas gases escape	20,00	55,10	16,39
Calderas auxiliares	30,00	47,40	6,20
Purificadoras	30,00	105,80	5,58
Sala control CCMM	5,00	36,76	6,20
Tecle CCMM	50,00	66,60	3,80
Talleres eléctrico	4,00	30,72	6,72
Talleres mecánico	8,00	92,82	6,72
Diferenciales, polines, etc.	80,00	60,57	4,55
Pañoles, herramientas y piezas de repuesto	4,00	72,52	7,11
Escalas CCMM	2,00	65,87	6,68
Sistema de combustible	44,00	58,90	3,40
Sistema de lubricación	36,00	66,05	2,60
Sistema de refrigeración	104,00	58,90	3,40
Sistema de ventilación de CCMM	15,00	60,11	8,68
Sistema de aire comprimido	24,00	54,46	2,58
Sistema de gases de escape	84,00	55,21	19,99
Sentinas, lastre, sondas y aireaciones	168,00	105,76	5,86
Sistemas hidráulicos	18,00	109,49	6,37
Sistema de vapor	36,00	46,86	6,81
Tuberías y válvulas	260,00	88,75	3,19
Equipo potabilizador de agua	8,00	100,40	5,81
Sistema de calefacción	18,00	71,51	4,20
Pasos de cable, mamparos	4,00	78,38	8,86
Sistema de aire acondicionado	80,00	96,14	6,79
Ventilación de zonas de carga y almacenes	60,00	153,66	13,97



Ropax 4000 TPM

Peso y centro de gravedad del buque en rosca

Equipos de refrigeración (víveres, etc.)	24,00	94,35	6,96
Agua en almacenes	80,00	42,49	3,85
Sistema CI	10,00	110,05	6,50
Equipos de lucha CI	9,00	108,84	6,50
Unidades de detección	6,00	96,85	23,19
Total	2120,00	68,40	5,65

5. PESO DE EQUIPOS, SERVICIOS Y HABILITACIÓN

Como en el caso de la maquinaria, se ha partido de las expresiones recogidas en el libro mencionado y de valores conocidos en buques similares.

Equipos, servicios y habilitación	W(ton.)	X _G (m)	Z _G (m)
Pintura	50,00	80,00	17,28
Anclas y cadenas	70,00	156,40	11,23
Sistema de fondeo y amarre proa	37,00	159,61	15,95
Sistema de amarre popa	26,00	-3,52	16,24
Puertas-Rampas de popa	87,00	-5,98	14,02
Rampas móviles	93,00	10,39	12,10
Car-deck	65,00	143,61	11,49
Sistema hidráulico	15,00	74,11	10,55
Equipos estiba carga	13,00	29,94	10,20
Almacenes	65,00	85,00	22,00
Escaleras interiores	68,00	92,25	10,10
Escaleras exteriores	23,00	83,96	22,10
Cocinas y gambuzas	95,00	64,39	21,20
Camarotes pasaje	75,00	127,95	20,22
Camarotes tripulación	45,00	103,71	26,22
Espacios comunes pasajeros	90,00	78,66	21,67
Espacios comunes Tripulación	45,00	118,50	26,38
Puente	28,00	146,53	29,05
Puertas	15,00	84,66	20,30
Puertas estancas	27,00	79,90	6,20
Ventanas	74,00	98,00	22,23
Barandillas	14,00	81,57	22,23
Timones	78,00	-0,64	3,01
Servo	48,00	0,00	7,17
Aletas estabilizadoras	20,00	74,32	1,00
Hélices de maniobra	35,00	145,16	2,62
Botes y balsas salvavidas	70,00	92,65	25,69
Manejo basuras	15,00	29,93	11,67
Ascensores	40,00	74,29	21,14
Mástiles y jarcia	10,00	139,19	32,41
Cableado	155,00	80,00	10,00
Baterías de emergencia	24,00	44,13	26,23
Transformadores y convertidores	16,00	46,99	7,00
Sistema de distribución de potencia	22,00	46,99	7,00



Ropax 4000 TPM

Peso y centro de gravedad del buque en rosca

Sistema de iluminación	16,00	129,75	25,90
Sistema de alarmas	3,00	129,75	25,90
Sistema de comunicaciones internas	2,00	146,53	29,05
Sistema de comunicaciones exteriores	4,00	146,53	29,05
Sistema de navegación	8,00	146,53	29,05
Herramientas y respetos	9,00	122,33	22,00
Mesa de mando y control	3,00	146,53	29,05
Total	1698,00	78,68	16,03

6. RESULTADOS

	W(ton.)	X _G (m)	Z _G (m)
Acero total	6408,17	77,51	12,46
Maquinaria	2120,00	68,40	5,65
Equipos, servicios y habilitación	1698,00	78,68	16,03
Total	10226,17	75,82	11,64

Los resultados obtenidos en este cuaderno se aproximan bastante a los del Cuaderno 1 "Dimensionamiento", por lo que los daremos por válidos y serán considerados de ahora en adelante.

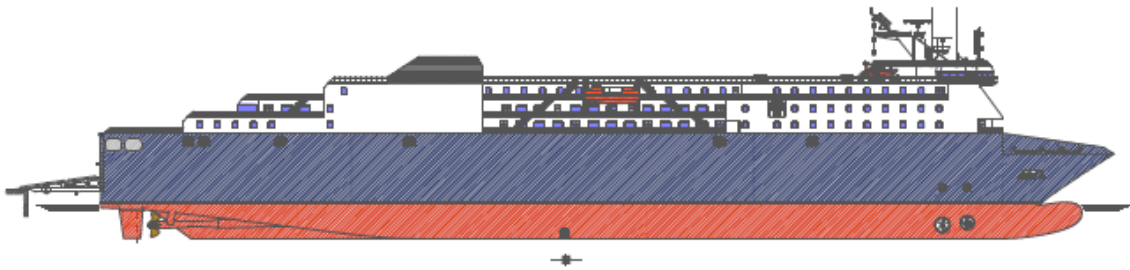
	W(ton.)	X _G (m)	Z _G (m)
Total	10226,17	75,82	11,64
Resultados cuaderno 2 "Dimensionamiento"	10282,00	75,85	11,46
Diferencia	0,54%	0,04%	1,58%



Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales

Proyecto Fin de Carrera nº034

ROPAX 4000 TPM



Cuaderno 12

Situaciones de carga y resistencia longitudinal

Tutor:

José María Riola Rodríguez

Alumno:

Francisco Sastre Guasch



Índice

1. INTRODUCCIÓN	3
2. ESTABILIDAD INTACTA DE LAS SITUACIONES DE CARGA	4
2.1. REGLAMENTO Y EXIGENCIAS.....	4
2.1.1. Situaciones de Carga a Estudiar	4
2.1.2. Criterios Generales Recomendados	4
2.1.3. Superestructuras que se tienen en cuenta a efectos de estabilidad	5
2.1.4. Correcciones por superficie libre	5
2.1.5. Efecto de una virada.....	7
2.1.6. Efecto de pasajeros a una banda	8
2.1.7. Efecto de viento y balance intensos.....	8
2.2. ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES DE CARGA Y VALORES DE ESTABILIDAD	10
2.2.1. Plena carga – Salida de puerto.....	11
2.2.2. Plena carga – Llegando a puerto.....	18
2.2.3. Lastre. Salida de puerto.....	24
2.2.4. Lastre. Llegada a puerto	30
3. RESISTENCIA LONGITUDINAL	36
3.1. Resultados	36
3.1.1. Plena carga – Salida de puerto.....	36
3.1.2. Plena carga – Llegada a puerto.....	38
3.1.3. Lastre – Salida de puerto.....	40
3.1.4. Lastre – Llegada a puerto.....	42
3.2. Comprobación del cumplimiento de los requerimientos de resistencia longitudinal.	44
4. ESTABILIDAD EN AVERÍAS, SOLAS 2009.	45
4.1 Criterio probabilístico.....	45
ANEXO 1.	48



1. INTRODUCCIÓN

En este cuaderno se estudian las distintas condiciones de carga que se darán a lo largo de la vida del buque , las cuales vienen indicadas en las normas de Inspección General de Buques (A.167-IMO), obteniendo los siguientes resultados:

- Condiciones de equilibrio en cada condición de carga en estudio.
- Verificación de la estabilidad del buque intacto para cada condición de carga.
- Estudio de la resistencia longitudinal y comprobación de los requisitos marcados por la Sociedad de Clasificación, Bureau Veritas.
- Estudio de las condiciones de equilibrio del buque después de una avería.
- Comprobación de estabilidad del buque después de avería teniendo en cuenta criterios exigidos por el SOLAS.



2. ESTABILIDAD INTACTA DE LAS SITUACIONES DE CARGA

En este apartado se recoge el proceso de cálculo que se seguirá para el análisis de las situaciones de carga.

2.1. REGLAMENTO Y EXIGENCIAS

Para los cálculos de estabilidad del buque intacto, se siguen los criterios exigidos por la administración española que se recogen en la Resolución A.749(18) o Código de Estabilidad Sin Avería para todos los tipos de buques regidos por los instrumentos de la OMI (aprobada el 4 de Noviembre de 1993).

2.1.1. Situaciones de Carga a Estudiar

Según la resolución A.749 (18), las condiciones de carga reglamentarias son:

- Buque en la condición de salida a plena carga, con la totalidad de provisiones, combustible y pasajeros con su equipaje.
- Buque en la condición de llegada a plena carga, con la totalidad de pasajeros y equipaje, pero con solo 10% de provisiones y combustible.
- Buque sin carga pero con la totalidad de provisiones, combustible y de pasajeros y su equipaje.
- Buque en las mismas condiciones que la anterior pero con solo 10% de provisiones y combustible.

No se estudian las condiciones intermedias, ya que entre la condición de salida y llegada no varía la cantidad de agua de lastre.

2.1.2. Criterios Generales Recomendados

El apartado 3.1.2. de la Resolución A.749(18) establece los criterios generales que deben cumplir los buques de pasaje y de carga:

- El área bajo la curva de brazos adrizantes (GZ) no será inferior de 0,055 mrad hasta un ángulo de escora de 30°, ni inferior a 0,09 mrad hasta un ángulo de escora de 40°, o hasta el ángulo de límite de inundación si es inferior a 40°.
- El área bajo la curva de brazos adrizantes entre 30° y 40°, o entre 30° y el ángulo límite si este es inferior a 40°, no será inferior a 0,03 mrad.
- El brazo adrizante GZ será como mínimo de 0,20 m para ángulos de escora igual o superiores a 30°.
- El brazo adrizante máximo corresponderá a un ángulo de escora preferiblemente superior a 30° pero no inferior a 25°.
- La altura metacéntrica inicial GM0 no será inferior a 0,15 m.



Además se obliga a buques de pasaje, el cumplimiento de los siguientes criterios:

- Pasaje a una banda. El ángulo de escora producido por la aglomeración de pasajeros a una banda, tal y como se define en la Resolución, no excederá de 10°.
- Virada. El ángulo de escora debido a una maniobra de giro, como se define en la resolución, no excederá de 10°.
- Vientos y balances intensos. Se deberá demostrar la aptitud del buque para resistir los efectos combinados del viento de través y del balance respecto de cada condición de carga. Criterio Meteorológico.

2.1.3. Superestructuras que se tienen en cuenta a efectos de estabilidad

Siguiendo las recomendaciones del punto 3.6.2 de la Resolución A 749, se computarán a efectos de estabilidad intacta “las superestructuras cerradas que cumplan con la regla 3 10) b) del Convenio de Líneas de Carga, 1966.”. En el caso del presente buque será la superestructura sobre la cubierta principal de carga. A partir de este punto, siguiendo lo determinado en la citada Regla, se considerará que el buque pierde completamente su estabilidad.

De todas estas superestructuras, han de descontarse de los Cálculos de Arquitectura Naval, las zonas de maniobra de proa y popa; considerándose ambas como puntos de inundación local. En navegación las puertas de acceso a ambas zonas irán siempre cerradas. El ángulo máximo de inundación progresiva viene reflejado en las curvas de brazos adrizantes, superará en todas las condiciones de carga los 60°. La importancia de este ángulo viene dada por el hecho de que a partir del mismo las curvas de estabilidad dejan de tener valor, produciéndose la pérdida del buque por escora excesiva.

2.1.4. Correcciones por superficie libre

Es bien conocido lo negativo que resulta para la estabilidad del buque el efecto de la superficie libre de los líquidos contenidos en tanques.

Siguiendo las indicaciones del punto 3.3 de la Resolución A749, “En todas las condiciones de carga, la altura metacéntrica inicial y las curvas de estabilidad se deberán corregir a fin de considerar el efecto de las superficies libres de los líquidos existentes en los tanques”.

A continuación se describe la modelización del efecto de la superficie libre propuesta por la resolución. Para todas las condiciones de carga, la altura metacéntrica inicial GM se corregirá por el efecto de la superficie libre de los líquidos contenidos en tanques mediante la expresión:

$$\text{Corrección}_{GM} = \frac{\sum (I_i \cdot \rho_i)}{\Delta}$$



Siendo:

- I_i : Inercia de la superficie libre del tanque i en m^4 .
- ρ_i : Densidad del líquido contenido en el tanque i en T/m^3 .
- Δ : Desplazamiento del buque en toneladas T .

De aquí se obtiene la altura metacéntrica inicial corregida:

$$GM_{\text{corregido}} = GM - \text{Corrección}_{GM}$$

Se deberán corregir por superficie libre los siguientes tanques:

Los tanques que presentan superficie libre durante todo el intervalo de la situación de carga en estudio.

En el caso de tanques de líquidos consumibles normalmente llenos (igual o superior al 98% de su capacidad), la pareja de tanques simétricos o un solo tanque central por cada consumo que presentan una mayor superficie libre a 30° y un 50% de su volumen, para prever las situaciones intermedias de consumo entre una condición de carga y la siguiente.

Por otra parte, para todas las condiciones de carga, los valores de la curva de brazos adrizantes GZ se corregirán, para cada ángulo de escora, por el efecto de las superficies libres de los tanques, según la tabla de valores propuesta por la Resolución, en función del momento producido.

El valor del momento por superficies libres para cualquier inclinación tiene la forma:

$$M_{fs} = v \cdot b \cdot \rho \cdot k \cdot \sqrt{\theta}$$

Dónde:

- M_{fs} =Momento de la superficie libre para cada inclinación ($T \cdot m$)
- v =Capacidad total del tanque (m)
- ρ =Densidad del líquido contenido en el tanque (t/m^3)
- b =Anchura máxima del tanque (m)
- θ =Coeficiente de bloque del tanque
- k =Coeficiente adimensional que viene dado por la siguiente tabla:



$k = \frac{\sin \vartheta}{12} \left(1 - \frac{(\tan \vartheta)^2}{2} \right) - \frac{b}{h}$					$k = \frac{\cos \theta}{8} \left(1 - \frac{\tan \theta}{\frac{b}{h}} \right) - \frac{\cos \theta}{12 \left(\frac{b}{h} \right)^2} \left(1 - \frac{(\cot \vartheta)^2}{2} \right)$									
where : $\cot \theta \geq \frac{b}{h}$					where : $\cot \theta < \frac{b}{h}$									
θ	5°	10°	15°	20°	30°	40°	45°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	θ
b/h														b/h
20	.11	.12	.12	.12	.11	.10	.09	.09	.09	.05	.04	.03	.02	20
10	.07	.11	.12	.12	.11	.10	.10	.09	.07	.05	.04	.03	.02	10
5	.04	.07	.10	.11	.11	.11	.10	.10	.08	.07	.06	.05	.04	5
3	.02	.04	.07	.09	.11	.11	.11	.10	.09	.08	.07	.06	.05	3
2	.01	.03	.04	.06	.09	.11	.11	.11	.10	.09	.09	.08	.07	2
1.5	.01	.02	.03	.05	.07	.10	.11	.11	.11	.11	.10	.10	.09	1.5
1	.01	.01	.02	.03	.05	.07	.09	.10	.12	.13	.13	.13	.13	1
.75	.01	.01	.01	.02	.02	.04	.04	.05	.09	.16	.18	.21	.16	.75
0.5	.00	.01	.01	.02	.02	.04	.04	.05	.09	.16	.18	.21	.23	0.5
0.3	.00	.00	.01	.01	.01	.02	.03	.03	.05	.11	.19	.27	.34	0.3
0.2	.00	.00	.00	.01	.01	.01	.02	.02	.04	.07	.13	.27	.45	0.2
0.1	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.01	.01	.02	.04	.06	.14	.53	0.1

Por tanto, para cada ángulo de escora, se obtiene la curva de brazos adrizantes corregidos:

$$GZ_{\text{corregido}} = GZ - \text{Corrección}_{GZ}$$

$$\text{Corrección} = \frac{\sum (M_{\bar{F}})_i}{D}$$

Los tanques para los que el valor de MFS a 30° sea menor que el producto de 0,01 por el Peso en Rosca no es preciso que sean incluidos en los cálculos de corrección.

2.1.5. Efecto de una virada

El momento producido por efecto de una virada se calculará según la Resolución por medio de la siguiente expresión:

$$M_v = 0,02 \cdot (V_0/L)^2 \cdot D \cdot (KG - (T/2))$$

Dónde:

- M_v = Momento escorante producido (t·m)
- V_0 = Velocidad de servicio del buque (m/s)



- D=Desplazamiento(t)
- T=Calado medio(m)
- KG=Altura del centro de gravedad sobre la línea base (m)

Con el valor M_v/D se entra en la curva de brazos de estabilidad obteniéndose el ángulo de equilibrio después de la virada, y se comprobará que este es menor de 10° .

2.1.6. Efecto de pasajeros a una banda

El momento producido por el efecto de acumulación de pasaje a una banda del barco se calcula mediante la ecuación:

$$M_p = P \cdot Y_{gp}$$

Siendo:

- M_p =Par escorante producido (t·m)
- P=Peso de pasaje y tripulación (t)
- Y_{gp} =Posición transversal centro de gravedad del pasaje (m)

Introduciendo el valor de M_p/D en la curva de brazos de estabilidad, se obtiene en ángulo de equilibrio de la nueva situación de pasaje a una banda, que debe ser inferior a 10° .

Para el cálculo de los valores de P y de Y_{gp} se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

- El peso de cada pasajero (conductor) o tripulante se considera, de acuerdo con el párrafo 3.5.2.6 de la Resolución, igual a 75 kg, independientemente del valor considerado en el desglose del peso muerto.
- Al comprobar el cumplimiento del criterio de pasajeros a una banda, se supondrá que los pasajeros sin equipaje serán distribuidos de modo que se produzca la combinación más desfavorable de momento escorante. A este respecto, se prevé que no será necesario tomar un valor superior a cuatro personas por metro cuadrado

2.1.7. Efecto de viento y balance intensos

El proceso de cálculo, que demuestra la aptitud del buque para resistir los efectos combinados del viento de través y del balance respecto de cada condición de carga, es el siguiente:

Se somete al buque a la presión de un peso constante que actúe perpendicularmente al plano de crujía, lo que dará como resultado el correspondiente brazo escorante (lw_1). Se supondrá que a partir del ángulo de equilibrio resultante (θ_s) el buque se balancea por la acción de las olas hasta alcanzar un ángulo de balance (θ_1) a barlovento.



A continuación se someterá al buque a la presión de una ráfaga de viento que dará como resultante el correspondiente brazo escorante (lw_2). En estas condiciones el área "b" debe superior o igual al área "a".

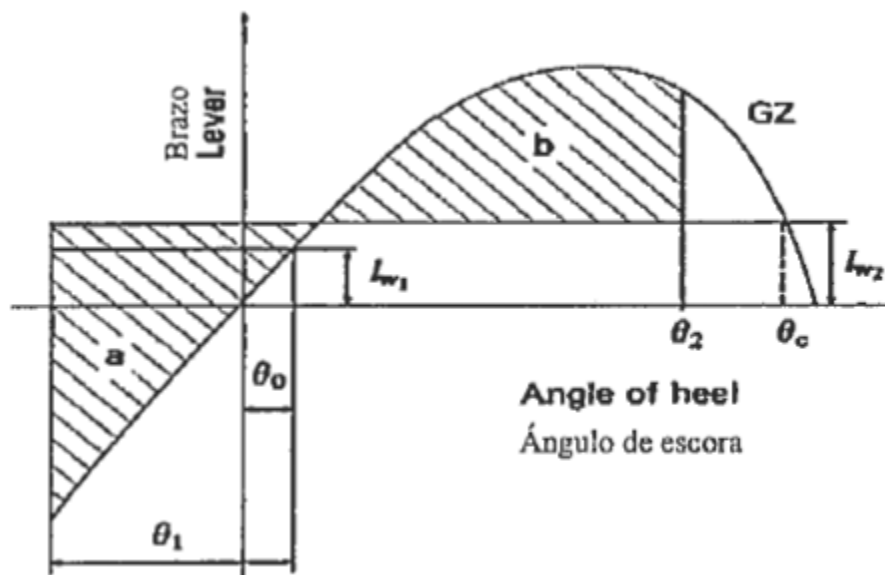


Figura 1: "Viento y balance intensos" obtenida de la part.3 Cap.4 Stability and Watertight Integrity, Sec.3. Desing Requeriments, Apartado A200

El cálculo de los brazos escorantes debido al viento constante y al racheado, serán constantes para todos los ángulos de inclinación y se calcularán de acuerdo con la resolución de la forma siguiente:

$$lw_1 = \frac{p \cdot A \cdot Z}{\Delta}$$

$$lw_2 = 1,5 \cdot lw_1$$

Dónde:

- $P = 0,0514 \text{ t/m}^2$
- $A =$ Área proyectada por encima de la flotación en m^2
- $Z =$ Distancia entre el centro de gravedad de A y $T/2$ en metros.
- $\Delta =$ Desplazamiento en toneladas.



El ángulo de escora provocado por un viento constante, θ_0 , se supondrá de 16° o el 80% del ángulo de inmersión de la cubierta si este valor es menor. El ángulo de balance a barlovento debido a la acción de las olas, se obtiene de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\theta_1 = 109 \cdot k \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot \sqrt{r \cdot s}$$

Siendo:

- x_1 = Factor tabulado en función de la manga y el calado.
- x_2 = Factor tabulado en función del coeficiente de bloque.
- k = Factor igual a 1.0, buques sin quillas de balance.
- s = Factor tabulado en función del periodo de balance.

$$r = 0,73 + 0,6 \cdot \frac{OG}{T}$$

Siendo OG la distancia entre el centro de gravedad y la flotación (positivo si queda el c.d.g por encima), y T el calado de trazado, ambas distancias en metros. Período de balance:

$$\frac{2 \cdot c \cdot B}{\sqrt{GM}}$$

Siendo;

- B; manga
- GM; altura metacéntrica corregida por superficies libres
- c;

$$c = 0.373 + 0.023 \cdot \frac{B}{T} - 0.043 \cdot \frac{L}{100}$$

El ángulo θ_2 será el menor entre el ángulo límite de inundación progresiva y θ_c , ángulo de segunda interceptación entre el brazo escorante lw_2 y la curva G.

2.2. ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES DE CARGA Y VALORES DE ESTABILIDAD

En este apartado se exponen los resultados obtenidos con Hydromax tras aplicar los criterios y condicionantes comentados previamente. Para cada condición de carga se ha obtenido la siguiente información:



- Característica de la condición de carga a estudiar, incluyendo el desglose de peso muerto que la define.
- Características generales de la posición de equilibrio resultante.
- Altura metacéntrica inicial y sus correcciones.
- Curvas de brazos de estabilidad.
- Comprobación de los criterios de estabilidad en estado intacto.

Para cada condición de carga se ha seleccionado aquella distribución del lastre que permitiera aproximar la posición longitudinal del centro de gravedad del barco a la posición longitudinal del centro de carena, con objeto de minimizar el trimado.

Como puede observarse a continuación, las curvas de brazos adrizantes presentan una zona plana donde generalmente existe un pico (entre los ángulos de escora de 50º y 60º). Ello se debe a las formas del buque: por encima de la flotación las formas se abren más rápidamente para que el buque pueda disponer de mayores espacios de carga.

2.2.1. Plena carga – Salida de puerto.

En esta condición de carga se dispone del 100% de consumos, 100% de carga, 100% del pasaje con su equipaje y 100% de la dotación con sus pertrechos.

2.2.1.1 Desglose de pesos.

Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m ³	Total Volume m ³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m
Pax	1	100,000	100,000			86,170	0,000	22,500
Trip	1	4,000	4,000			86,170	0,000	25,450
Viveres	1	30,000	30,000			83,700	0,000	20,200
Cargos y pertrechos	1	20,000	20,000			92,680	0,000	22,690
Carga cubierta principal	1	1347,250	1347,250			65,800	0,000	12,500
Carga cubierta superior	1	425,250	425,250			75,000	0,000	17,430
Elementos sueltos est	1	30,000	30,000			80,000	0,000	14,350
Lightship	1	10282,000	10282,000			75,850	0,000	11,460
HFO_Alm1	100%	154,190	154,190	163,285	163,285	89,600	-3,645	3,755
HFO_Alm2	100%	154,200	154,200	163,296	163,296	89,600	3,645	3,755
HFO_Alm3	100%	154,200	154,200	163,296	163,296	96,000	-3,645	3,755
HFO_Alm4	100%	154,200	154,200	163,296	163,296	96,000	3,645	3,755
HFO_Sed1	100%	108,776	108,776	115,192	115,192	84,200	-3,740	3,755
HFO_Sed2	100%	108,776	108,776	115,192	115,192	84,200	3,740	3,755
HFO_UD1	100%	65,648	65,648	69,520	69,520	84,425	-3,520	6,755
HFO_UD2	100%	65,648	65,648	69,520	69,520	84,425	3,520	6,755
HFO_Alm5	100%	90,572	90,572	95,914	95,914	101,215	-3,400	3,755
HFO_Alm6	100%	90,572	90,572	95,914	95,914	101,215	3,400	3,755
MDF_Alm1	100%	109,321	109,321	130,144	130,144	107,200	-2,905	3,755
MDF_Alm2	100%	109,321	109,321	130,144	130,144	107,200	2,905	3,755
MDF_Sed1	100%	43,512	43,512	51,800	51,800	78,650	-5,480	3,755



Ropax 4000 TPM

Situaciones de carga y resistencia longitudinal

MDF_Sed2	100%	43,512	43,512	51,800	51,800	78,650	5,480	3,755
MDF_UD1	100%	19,320	19,320	23,000	23,000	77,950	-5,480	6,755
MDF_UD2	100%	19,320	19,320	23,000	23,000	77,950	5,480	6,755
Aceite_Ret1	100%	7,244	7,244	7,874	7,874	66,000	-6,195	1,650
Aceite_Ret2	100%	7,244	7,244	7,874	7,874	66,000	-3,145	1,650
Aceite_Ret3	100%	7,244	7,244	7,874	7,874	66,000	3,145	1,650
Aceite_Ret4	100%	7,244	7,244	7,874	7,874	66,000	6,195	1,650
Aceite_Alm	100%	21,356	21,356	23,213	23,213	65,700	0,000	1,280
Aceite_Sucio	100%	19,289	19,289	20,966	20,966	71,600	0,000	1,280
Agua dulce1	100%	105,210	105,210	105,210	105,210	42,575	-2,100	3,505
Agua dulce1	100%	105,210	105,210	105,210	105,210	42,575	2,100	3,505
Antiheeling1	50%	272,269	136,135	265,629	132,814	81,588	-11,427	5,275
Antiheeling2	50%	272,269	136,135	265,629	132,814	81,588	11,427	5,275
BW_1	0%	211,096	0,000	205,947	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_2	0%	211,096	0,000	205,947	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_3	0%	108,846	0,000	106,191	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_4	0%	108,846	0,000	106,191	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_5	0%	131,648	0,000	128,437	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_6	0%	131,648	0,000	128,437	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_7	0%	146,833	0,000	143,251	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_8	0%	146,833	0,000	143,251	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_9	0%	100,897	0,000	98,436	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_10	0%	100,897	0,000	98,436	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_11	0%	41,426	0,000	40,416	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_12	0%	41,426	0,000	40,416	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_13	0%	67,748	0,000	66,096	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_14	0%	67,748	0,000	66,096	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_15	0%	109,519	0,000	106,848	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_16	0%	161,475	0,000	157,536	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_17	0%	161,475	0,000	157,536	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_19	0%	102,336	0,000	99,840	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_20	0%	102,336	0,000	99,840	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_18	0%	109,519	0,000	106,848	0,000	0,000	0,000	0,000
Total Loadcase			14281,899	4747,667	2176,038	76,341	0,000	10,805
FS correction								0,001
VCG fluid								10,806

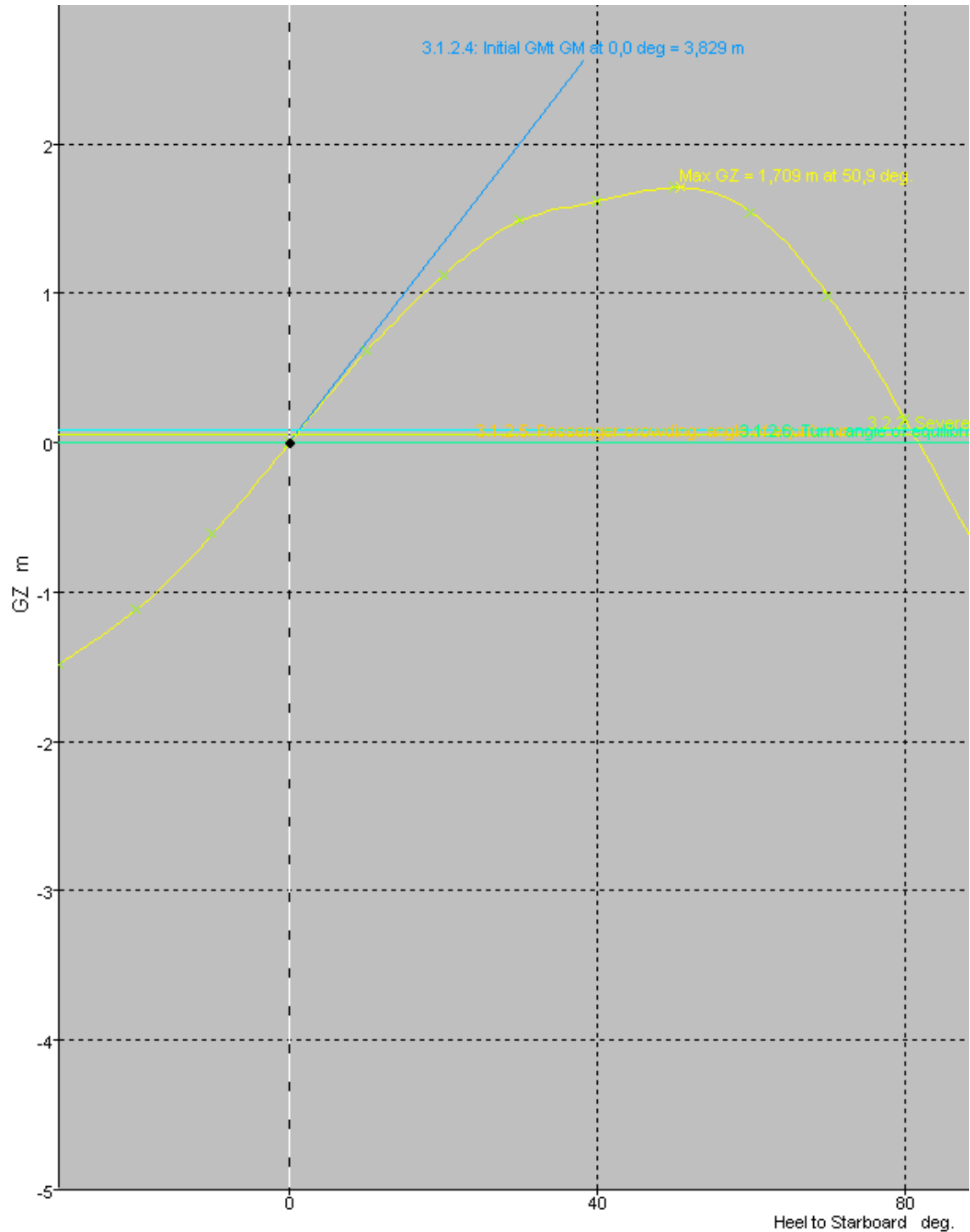


2.2.1.2 Características de la situación de equilibrio.

Displacement t	14282
Draft at FP m	5,985
Draft at AP m	6,029
Draft at LCF m	6,003
Trim (+ve by stern) m	0,044
WL Length m	173,774
Beam max extents on WL m	24,996
Wetted Area m ²	4655,605
Waterpl. Area m ²	3456,507
Prismatic coeff. (Cp)	0,540
Block coeff. (Cb)	0,530
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,987
LCB from zero pt. (+ve aft) m	-76,343
LCF from zero pt. (+ve aft) m	-66,762
KB m	3,467
KG fluid m	10,806
BMt m	11,167
BML m	432,848
GMt corrected m	3,829
GML m	425,509
KMt m	14,634
KML m	436,315
Immersion (TPc) tonne/cm	35,429
MTc tonne.m	-379,817
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	954,284
Max deck inclination deg	0,0158
Trim angle (+ve by stern) deg	179,9842



2.2.1.3 Curva de brazos de estabilidad.





2.2.1.4 Criterios de estabilidad.

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 30				Pass
	from the greater of				
	spec. heel angle	0,0	deg	0,0	
	to the lesser of				
	spec. heel angle	30,0	deg	30,0	
	angle of vanishing stability	81,8	deg		
	shall not be less than (\geq)	3,1513	m.deg	25,0904	Pass
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 40				Pass
	from the greater of				
	spec. heel angle	0,0	deg	0,0	
	to the lesser of				
	spec. heel angle	40,0	deg	40,0	
	first downflooding angle	n/a	deg		
	angle of vanishing stability	81,8	deg		
	shall not be less than (\geq)	5,1566	m.deg	40,6947	Pass
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 30 to 40				Pass
	from the greater of				
	spec. heel angle	30,0	deg	30,0	
	to the lesser of				
	spec. heel angle	40,0	deg	40,0	
	first downflooding angle	n/a	deg		
	angle of vanishing stability	81,8	deg		
	shall not be less than (\geq)	1,7189	m.deg	15,6043	Pass
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater				Pass
	in the range from the greater of				
	spec. heel angle	30,0	deg	30,0	
	to the lesser of				
	spec. heel angle	90,0	deg		
	angle of max. GZ	50,9	deg	50,9	
	shall not be less than (\geq)	0,200	m	1,709	Pass
	Intermediate values				
	angle at which this GZ occurs		deg	50,9	
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.3: Angle of maximum GZ				Pass
	shall not be less than (\geq)	25,0	deg	50,9	Pass
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.4: Initial GMt				Pass
	spec. heel angle	0,0	deg		
	shall not be less than (\geq)	0,150	m	3,829	Pass
A.749(18) Ch3 - Design criteria	3.1.2.5: Passenger crowding: angle of equilibrium				Pass



Ropax 4000 TPM

Situaciones de carga y resistencia longitudinal

applicable to all ships					
	Pass. crowding arm = $nPass M / \text{disp. } D \cos^n(\phi)$				
	number of passengers: $nPass =$	0			
	passenger mass: $M =$	0,075	tonne		
	distance from centre line: $D =$	0,000	m		
	cosine power: $n =$	0			
	shall not be greater than (\leq)	10,0	deg	0,0	Pass
	Intermediate values				
	Heel arm amplitude		m	0,000	
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.6: Turn: angle of equilibrium				Pass
	Turn arm: $a v^2 / (R g) h \cos^n(\phi)$				
	constant: $a =$	0,9996			
	vessel speed: $v =$	0,000	kts		
	turn radius, R , as percentage of Lwl	510,00	%		
	$h = KG - \text{mean draft} / 2$	7,801	m		
	cosine power: $n =$	0			
	shall not be greater than (\leq)	10,0	deg	0,0	Pass
	Intermediate values				
	Heel arm amplitude		m	0,000	
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.2.2: Severe wind and rolling				Pass
	Wind arm: $a P A (h - H) / (g \text{ disp.}) \cos^n(\phi)$				
	constant: $a =$	0,99966			
	wind pressure: $P =$	504,00	Pa		
	area centroid height (from zero point): $h =$	6,000	m		
	additional area: $A =$	50,000	m ²		
	$H = \text{vert. centre of projected lat. u'water area}$	3,070	m		
	cosine power: $n =$	0			
	gust ratio	1,5			
	Area2 integrated to the lesser of				
	roll back angle from equilibrium (with steady heel arm)	25,0 (-24,1)	deg	-24,1	
	Area 1 upper integration range, to the lesser of:				
	spec. heel angle	50,0	deg	50,0	
	first downflooding angle	n/a	deg		
	angle of vanishing stability (with gust heel arm)	80,8	deg		
	Angle for $GZ(\text{max})$ in GZ ratio, the lesser of:				
	angle of max. GZ	50,9	deg	50,9	
	Select required angle for angle of steady heel ratio:	DeckEdgeImmersionAngle			
	Criteria:				Pass
	Angle of steady heel shall not be greater than (\leq)	16,0	deg	0,9	Pass
	Angle of steady heel / Deck edge immersion angle shall not be greater than (\leq)	80,00	%	2,05	Pass
	Area1 / Area2 shall not be less than (\geq)	100,00	%	279,77	Pass
	Intermediate values				
	Model windage area		m ²	1911,883	



Ropax 4000 TPM

Situaciones de carga y resistencia longitudinal

	Model windage area centroid height (from zero point)		m	11,494	
	Total windage area		m ²	1961,883	
	Total windage area centroid height (from zero point)		m	11,354	
	Heel arm amplitude		m	0,058	
	Equilibrium angle with steady heel arm		deg	0,9	
	Equilibrium angle with gust heel arm		deg	1,4	
	Deck edge immersion angle		deg	45,0	
	Area1 (under GZ), from 1,4 to 50,0 deg.		m.deg	57,3181	
	Area1 (under HA), from 1,4 to 50,0 deg.		m.deg	4,2632	
	Area1, from 1,4 to 50,0 deg.		m.deg	53,0549	
	Area2 (under GZ), from -24,1 to 1,4 deg.		m.deg	-16,7310	
	Area2 (under HA), from -24,1 to 1,4 deg.		m.deg	2,2330	
	Area2, from -24,1 to 1,4 deg.		m.deg	18,9640	



Ropax 4000 TPM

Situaciones de carga y resistencia longitudinal

2.2.2. Plena carga – Llegando a puerto.

En esta condición de carga se dispone del 10% de consumos, 100% de carga, 100% del pasaje con su equipaje y 100% de la dotación con sus pertrechos.

2.2.2.1 Desglose de pesos.

Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m ³	Total Volume m ³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m
Pax	1	100,000	100,000			86,170	0,000	22,500
Trip	1	4,000	4,000			86,170	0,000	25,450
Viveres	1	30,000	30,000			83,700	0,000	20,200
Cargos y pertrechos	1	20,000	20,000			92,680	0,000	22,690
Carga cubierta principal	1	1347,250	1347,250			65,800	0,000	12,500
Carga cubierta superior	1	425,250	425,250			75,000	0,000	17,430
Elementos sueltos est	1	30,000	30,000			80,000	0,000	14,350
Lightship	1	10282,000	10282,000			75,850	0,000	11,460
HFO_Alm1	10%	154,190	15,419	163,285	16,328	89,600	-3,645	2,180
HFO_Alm2	10%	154,200	15,420	163,296	16,330	89,600	3,645	2,180
HFO_Alm3	10%	154,200	15,420	163,296	16,330	96,000	-3,645	2,180
HFO_Alm4	10%	154,200	15,420	163,296	16,330	96,000	3,645	2,180
HFO_Alm5	10%	90,572	9,057	95,914	9,591	101,215	-3,400	2,180
HFO_Alm6	10%	90,572	9,057	95,914	9,591	101,215	3,400	2,180
HFO_Sed1	10%	108,776	10,878	115,192	11,519	84,200	-3,740	2,180
HFO_Sed2	10%	108,776	10,878	115,192	11,519	84,200	3,740	2,180
HFO_UD1	10%	65,648	6,565	69,520	6,952	84,425	-3,520	5,630
HFO_UD2	10%	65,648	6,565	69,520	6,952	84,425	3,520	5,630
MDF_Alm1	10%	109,321	10,932	130,144	13,014	107,200	-2,905	2,180
MDF_Alm2	10%	109,321	10,932	130,144	13,014	107,200	2,905	2,180
MDF_Sed1	10%	43,512	4,351	51,800	5,180	78,650	-5,480	2,180
MDF_Sed2	10%	43,512	4,351	51,800	5,180	78,650	5,480	2,180
MDF_UD1	10%	19,320	1,932	23,000	2,300	77,950	-5,480	5,630
MDF_UD2	10%	19,320	1,932	23,000	2,300	77,950	5,480	5,630
Aceite_Ret1	100%	7,244	7,244	7,874	7,874	66,000	-6,195	1,650
Aceite_Ret2	100%	7,244	7,244	7,874	7,874	66,000	-3,145	1,650
Aceite_Ret3	100%	7,244	7,244	7,874	7,874	66,000	3,145	1,650
Aceite_Ret4	100%	7,244	7,244	7,874	7,874	66,000	6,195	1,650
Aceite_Alm	100%	21,356	21,356	23,213	23,213	65,700	0,000	1,280
Aceite_Sucio	100%	19,289	19,289	20,966	20,966	71,600	0,000	1,280
Agua dulce1	100%	105,210	105,210	105,210	105,210	42,575	-2,100	3,505
Agua dulce1	100%	105,210	105,210	105,210	105,210	42,575	2,100	3,505
Antiheeling1	50%	272,269	136,135	265,629	132,814	81,588	-11,427	5,275
Antiheeling2	50%	272,269	136,135	265,629	132,814	81,588	11,427	5,275
BW_1	100%	211,096	211,096	205,947	205,947	81,579	-5,367	1,012
BW_2	100%	211,096	211,096	205,947	205,947	81,579	5,367	1,012
BW_3	100%	108,846	108,846	106,191	106,191	95,570	-3,697	1,021
BW_4	100%	108,846	108,846	106,191	106,191	95,570	3,697	1,021
BW_5	0%	131,648	0,000	128,437	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_6	0%	131,648	0,000	128,437	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_7	100%	146,833	146,833	143,251	143,251	131,005	-1,887	3,563
BW_8	100%	146,833	146,833	143,251	143,251	131,005	1,887	3,563
BW_9	100%	100,897	100,897	98,436	98,436	121,578	-2,568	3,523
BW_10	100%	100,897	100,897	98,436	98,436	121,578	2,568	3,523



Ropax 4000 TPM

Situaciones de carga y resistencia longitudinal

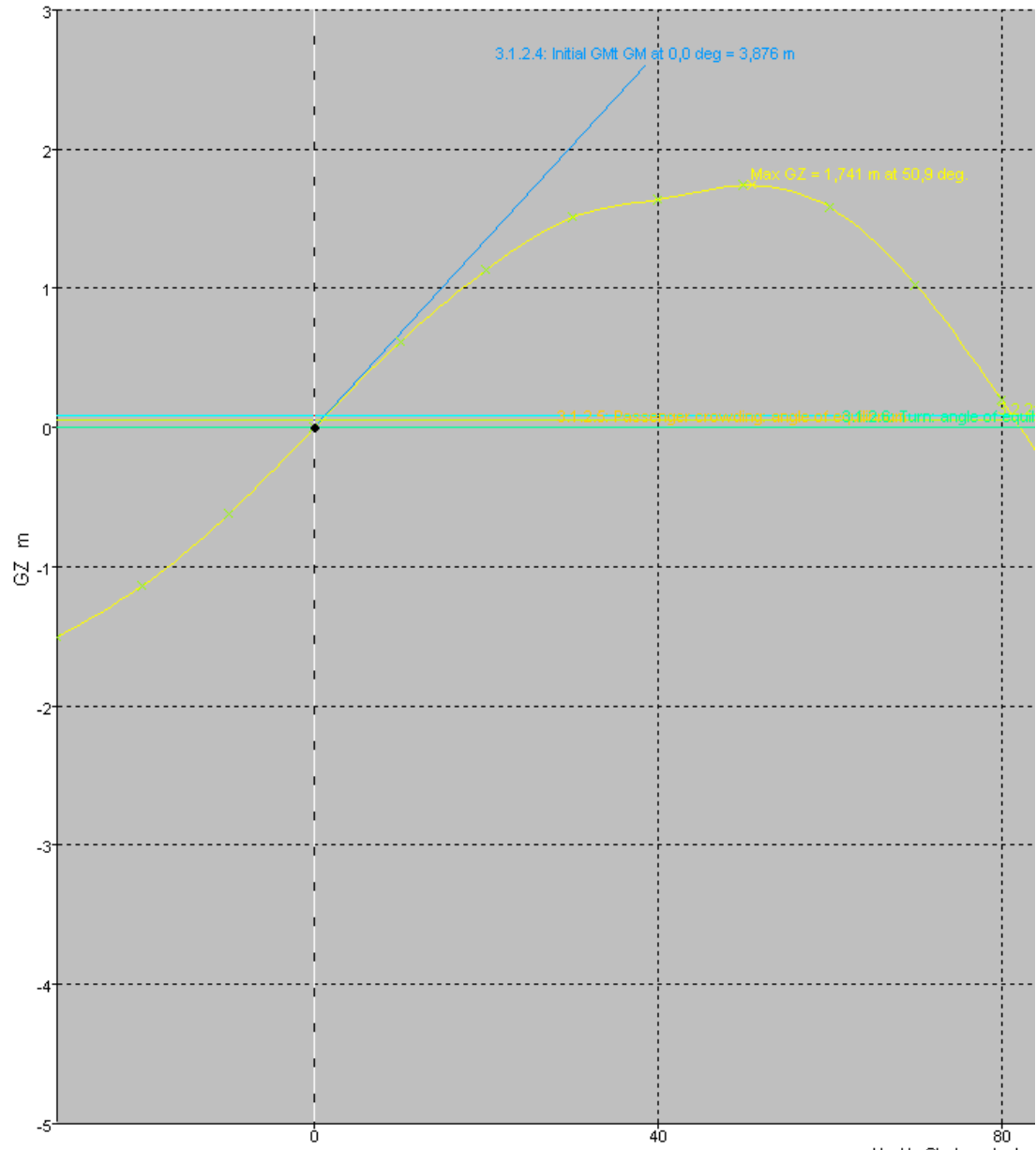
BW_11	100%	41,426	41,426	40,416	40,416	36,800	-2,105	3,505
BW_12	100%	41,426	41,426	40,416	40,416	36,800	2,105	3,505
BW_13	100%	67,748	67,748	66,096	66,096	18,000	-5,580	6,505
BW_14	100%	67,748	67,748	66,096	66,096	18,000	5,580	6,505
BW_15	0%	109,519	0,000	106,848	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_16	0%	161,475	0,000	157,536	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_17	0%	161,475	0,000	157,536	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_19	0%	102,336	0,000	99,840	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_20	0%	102,336	0,000	99,840	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_18	0%	109,519	0,000	106,848	0,000	0,000	0,000	0,000
Total Loadcase			14293,614	4747,667	2034,833	76,229	0,000	10,645
FS correction								0,121
VCG fluid								10,767

2.2.2.2 Características de la situación de equilibrio.

Displacement t	14294
Draft at FP m	6,004
Draft at AP m	6,010
Draft at LCF m	6,007
Trim (+ve by stern) m	0,005
WL Length m	173,794
Beam max extents on WL m	24,996
Wetted Area m ²	4657,081
Waterpl. Area m ²	3458,671
Prismatic coeff. (Cp)	0,540
Block coeff. (Cb)	0,530
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,987
LCB from zero pt. (+ve aft) m	-76,230
LCF from zero pt. (+ve aft) m	-66,700
KB m	3,469
KG fluid m	10,767
BMt m	11,174
BML m	433,350
GMt corrected m	3,876
GML m	426,052
KMt m	14,643
KML m	436,819
Immersion (TPc) tonne/cm	35,451
MTc tonne.m	-380,614
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	967,021
Max deck inclination deg	0,0018
Trim angle (+ve by stern) deg	179,9982



2.2.2.3 Curva de brazos de estabilidad.





Ropax 4000 TPM

Situaciones de carga y resistencia longitudinal

2.2.2.4 Criterios de estabilidad.

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 30				Pass
	from the greater of				
	spec. heel angle	0,0	deg	0,0	
	to the lesser of				
	spec. heel angle	30,0	deg	30,0	
	angle of vanishing stability	82,2	deg		
	shall not be less than (\geq)	3,1513	m.deg	25,4196	Pass
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 40				Pass
	from the greater of				
	spec. heel angle	0,0	deg	0,0	
	to the lesser of				
	spec. heel angle	40,0	deg	40,0	
	first downflooding angle	n/a	deg		
	angle of vanishing stability	82,2	deg		
	shall not be less than (\geq)	5,1566	m.deg	41,2616	Pass
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 30 to 40				Pass
	from the greater of				
	spec. heel angle	30,0	deg	30,0	
	to the lesser of				
	spec. heel angle	40,0	deg	40,0	
	first downflooding angle	n/a	deg		
	angle of vanishing stability	82,2	deg		
	shall not be less than (\geq)	1,7189	m.deg	15,8420	Pass
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater				Pass
	in the range from the greater of				
	spec. heel angle	30,0	deg	30,0	
	to the lesser of				
	spec. heel angle	90,0	deg		
	angle of max. GZ	50,9	deg	50,9	
	shall not be less than (\geq)	0,200	m	1,741	Pass
	Intermediate values				
	angle at which this GZ occurs		deg	50,9	
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.3: Angle of maximum GZ				Pass
	shall not be less than (\geq)	25,0	deg	50,9	Pass
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.4: Initial GMt				Pass
	spec. heel angle	0,0	deg		
	shall not be less than (\geq)	0,150	m	3,876	Pass
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.5: Passenger crowding: angle of equilibrium				Pass
	Pass. crowding arm = $n_{Pass} M / \text{disp. } D \cos^n(\phi)$				
	number of passengers: $n_{Pass} =$	0			
	passenger mass: $M =$	0,075	tonne		
	distance from centre line: $D =$	0,000	m		
	cosine power: $n =$	0			



Ropax 4000 TPM

Situaciones de carga y resistencia longitudinal

	shall not be greater than (\leq)	10,0	deg	0,0	Pass
	Intermediate values				
	Heel arm amplitude		m	0,000	
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.6: Turn: angle of equilibrium				Pass
	Turn arm: $a v^2 / (R g) h \cos^n(\phi)$				
	constant: $a =$	0,9996			
	vessel speed: $v =$	0,000	kts		
	turn radius, R , as percentage of Lwl	510,00	%		
	$h = KG - \text{mean draft} / 2$	7,642	m		
	cosine power: $n =$	0			
	shall not be greater than (\leq)	10,0	deg	0,0	Pass
	Intermediate values				
	Heel arm amplitude		m	0,000	
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.2.2: Severe wind and rolling				Pass
	Wind arm: $a P A (h - H) / (g \text{ disp.}) \cos^n(\phi)$				
	constant: $a =$	0,99966			
	wind pressure: $P =$	504,00	Pa		
	area centroid height (from zero point): $h =$	6,000	m		
	additional area: $A =$	50,000	m ²		
	$H = \text{vert. centre of projected lat. u'water area}$	3,070	m		
	cosine power: $n =$	0			
	gust ratio	1,5			
	Area2 integrated to the lesser of				
	roll back angle from equilibrium (with steady heel arm)	25,0 (-24,1)	deg	-24,1	
	Area 1 upper integration range, to the lesser of:				
	spec. heel angle	50,0	deg	50,0	
	first downflooding angle	n/a	deg		
	angle of vanishing stability (with gust heel arm)	81,2	deg		
	Angle for GZ(max) in GZ ratio, the lesser of:				
	angle of max. GZ	50,9	deg	50,9	
	Select required angle for angle of steady heel ratio:	DeckEdgeImmersionAngle			
	Criteria:				Pass
	Angle of steady heel shall not be greater than (\leq)	16,0	deg	0,9	Pass
	Angle of steady heel / Deck edge immersion angle shall not be greater than (\leq)	80,00	%	2,02	Pass
	Area1 / Area2 shall not be less than (\geq)	100,00	%	280,87	Pass
	Intermediate values				
	Model windage area		m ²	1911,872	
	Model windage area centroid height (from zero point)		m	11,494	
	Total windage area		m ²	1961,872	
	Total windage area centroid height (from zero point)		m	11,354	
	Heel arm amplitude		m	0,058	
	Equilibrium angle with steady heel arm		deg	0,9	
	Equilibrium angle with gust heel arm		deg	1,4	
	Deck edge immersion angle		deg	45,1	



Ropax 4000 TPM

Situaciones de carga y resistencia longitudinal

	Area1 (under GZ), from 1,4 to 50,0 deg.		m.deg	58,1780	
	Area1 (under HA), from 1,4 to 50,0 deg.		m.deg	4,2614	
	Area1, from 1,4 to 50,0 deg.		m.deg	53,9166	
	Area2 (under GZ), from -24,1 to 1,4 deg.		m.deg	-16,9654	
	Area2 (under HA), from -24,1 to 1,4 deg.		m.deg	2,2306	
	Area2, from -24,1 to 1,4 deg.		m.deg	19,1959	



Ropax 4000 TPM

Situaciones de carga y resistencia longitudinal

2.2.3. Lastre. Salida de puerto

En esta condición de carga se dispone del 100% de consumos, 0% de carga, 100% del pasaje con su equipaje y 100% de la dotación con sus pertrechos.

2.2.3.1 Desglose de pesos.

Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m ³	Total Volume m ³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m
Pax	1	100,000	100,000			86,170	0,000	22,500
Trip	1	4,000	4,000			86,170	0,000	25,450
Viveres	1	30,000	30,000			83,700	0,000	20,200
Cargos y pertrechos	1	20,000	20,000			92,680	0,000	22,690
Carga cubierta principal	0	1347,250	0,000			65,800	0,000	12,500
Carga cubierta superior	0	425,250	0,000			75,000	0,000	17,430
Elementos sultos est	1	30,000	30,000			80,000	0,000	14,350
Lightship	1	10282,000	10282,000			75,850	0,000	11,460
HFO_Alm1	100%	154,190	154,190	163,285	163,285	89,600	-3,645	3,755
HFO_Alm2	100%	154,200	154,200	163,296	163,296	89,600	3,645	3,755
HFO_Alm3	100%	154,200	154,200	163,296	163,296	96,000	-3,645	3,755
HFO_Alm4	100%	154,200	154,200	163,296	163,296	96,000	3,645	3,755
HFO_Alm5	100%	90,572	90,572	95,914	95,914	101,215	-3,400	3,755
HFO_Alm6	100%	90,572	90,572	95,914	95,914	101,215	3,400	3,755
HFO_Sed1	100%	108,776	108,776	115,192	115,192	84,200	-3,740	3,755
HFO_Sed2	100%	108,776	108,776	115,192	115,192	84,200	3,740	3,755
HFO_UD1	100%	65,648	65,648	69,520	69,520	84,425	-3,520	6,755
HFO_UD2	100%	65,648	65,648	69,520	69,520	84,425	3,520	6,755
MDF_Alm1	100%	109,321	109,321	130,144	130,144	107,200	-2,905	3,755
MDF_Alm2	100%	109,321	109,321	130,144	130,144	107,200	2,905	3,755
MDF_Sed1	100%	43,512	43,512	51,800	51,800	78,650	-5,480	3,755
MDF_Sed2	100%	43,512	43,512	51,800	51,800	78,650	5,480	3,755
MDF_UD1	100%	19,320	19,320	23,000	23,000	77,950	-5,480	6,755
MDF_UD2	100%	19,320	19,320	23,000	23,000	77,950	5,480	6,755
Aceite_Ret1	100%	7,244	7,244	7,874	7,874	66,000	-6,195	1,650
Aceite_Ret2	100%	7,244	7,244	7,874	7,874	66,000	-3,145	1,650
Aceite_Ret3	100%	7,244	7,244	7,874	7,874	66,000	3,145	1,650
Aceite_Ret4	100%	7,244	7,244	7,874	7,874	66,000	6,195	1,650
Aceite_Alm	100%	21,356	21,356	23,213	23,213	65,700	0,000	1,280
Aceite_Sucio	100%	19,289	19,289	20,966	20,966	71,600	0,000	1,280
Agua dulce1	100%	105,210	105,210	105,210	105,210	42,575	-2,100	3,505
Agua dulce1	100%	105,210	105,210	105,210	105,210	42,575	2,100	3,505
Antiheeling1	50%	272,269	136,135	265,629	132,814	81,588	-11,427	5,275
Antiheeling2	50%	272,269	136,135	265,629	132,814	81,588	11,427	5,275
BW_1	100%	211,096	211,096	205,947	205,947	81,579	-5,367	1,012
BW_2	100%	211,096	211,096	205,947	205,947	81,579	5,367	1,012
BW_3	100%	108,846	108,846	106,191	106,191	95,570	-3,697	1,021
BW_4	100%	108,846	108,846	106,191	106,191	95,570	3,697	1,021
BW_5	100%	131,648	131,648	128,437	128,437	105,418	-2,548	1,050
BW_6	100%	131,648	131,648	128,437	128,437	105,418	2,548	1,050
BW_7	0%	146,833	0,000	143,251	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_8	0%	146,833	0,000	143,251	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_9	100%	100,897	100,897	98,436	98,436	121,578	-2,568	3,523
BW_10	100%	100,897	100,897	98,436	98,436	121,578	2,568	3,523
BW_11	0%	41,426	0,000	40,416	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_12	0%	41,426	0,000	40,416	0,000	0,000	0,000	0,000



Ropax 4000 TPM

Situaciones de carga y resistencia longitudinal

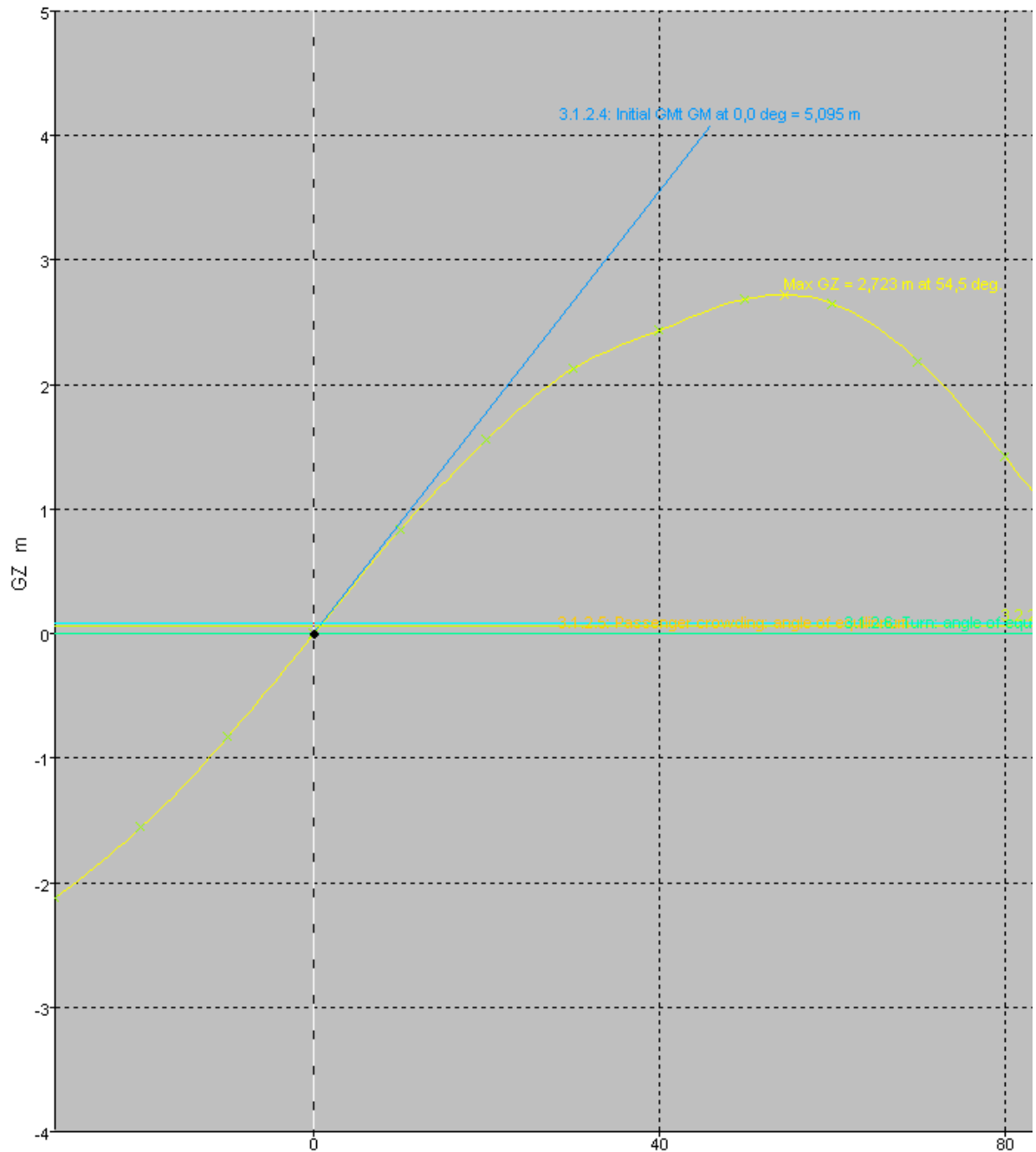
BW_13	100%	67,748	67,748	66,096	66,096	18,000	-5,580	6,505
BW_14	100%	67,748	67,748	66,096	66,096	18,000	5,580	6,505
BW_15	100%	109,519	109,519	106,848	106,848	24,000	-8,315	6,505
BW_16	100%	161,475	161,475	157,536	157,536	24,000	-3,725	6,505
BW_17	100%	161,475	161,475	157,536	157,536	24,000	3,725	6,505
BW_19	0%	102,336	0,000	99,840	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_20	0%	102,336	0,000	99,840	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_18	100%	109,519	109,519	106,848	106,848	24,000	8,315	6,505
Total Loadcase			14291,859	4747,667	3915,023	76,459	0,000	9,523
FS correction								0,001
VCG fluid								9,524

2.2.3.2 Características de la situación de equilibrio.

Displacement t	14292
Draft at FP m	5,968
Draft at AP m	6,059
Draft at LCF m	6,006
Trim (+ve by stern) m	0,091
WL Length m	173,741
Beam max extents on WL m	24,996
Wetted Area m ²	4657,752
Waterpl. Area m ²	3454,683
Prismatic coeff. (Cp)	0,540
Block coeff. (Cb)	0,530
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,987
LCB from zero pt. (+ve aft) m	-76,462
LCF from zero pt. (+ve aft) m	-66,815
KB m	3,469
KG fluid m	9,524
BMt m	11,150
BML m	431,514
GMt corrected m	5,095
GML m	425,458
KMt m	14,619
KML m	434,982
Immersion (TPc) tonne/cm	35,411
MTc tonne.m	-380,037
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	1270,736
Max deck inclination deg	0,0325
Trim angle (+ve by stern) deg	179,9675



2.2.3.3 Curva de brazos de estabilidad.





Ropax 4000 TPM

Situaciones de carga y resistencia longitudinal

2.2.3.4 Criterios de estabilidad.

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 30				Pass
	from the greater of				
	spec. heel angle	0,0	deg	0,0	
	to the lesser of				
	spec. heel angle	30,0	deg	30,0	
	angle of vanishing stability	95,4	deg		
	shall not be less than (\geq)	3,1513	m.deg	34,8705	Pass
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 40				Pass
	from the greater of				
	spec. heel angle	0,0	deg	0,0	
	to the lesser of				
	spec. heel angle	40,0	deg	40,0	
	first downflooding angle	n/a	deg		
	angle of vanishing stability	95,4	deg		
	shall not be less than (\geq)	5,1566	m.deg	57,7978	Pass
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 30 to 40				Pass
	from the greater of				
	spec. heel angle	30,0	deg	30,0	
	to the lesser of				
	spec. heel angle	40,0	deg	40,0	
	first downflooding angle	n/a	deg		
	angle of vanishing stability	95,4	deg		
	shall not be less than (\geq)	1,7189	m.deg	22,9272	Pass
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater				Pass
	in the range from the greater of				
	spec. heel angle	30,0	deg	30,0	
	to the lesser of				
	spec. heel angle	90,0	deg		
	angle of max. GZ	54,5	deg	54,5	
	shall not be less than (\geq)	0,200	m	2,723	Pass
	Intermediate values				
	angle at which this GZ occurs		deg	54,5	
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.3: Angle of maximum GZ				Pass
	shall not be less than (\geq)	25,0	deg	54,5	Pass
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.4: Initial GMt				Pass
	spec. heel angle	0,0	deg		
	shall not be less than (\geq)	0,150	m	5,095	Pass
A.749(18) Ch3 - Design criteria	3.1.2.5: Passenger crowding: angle of equilibrium				Pass



Ropax 4000 TPM

Situaciones de carga y resistencia longitudinal

applicable to all ships					
	Pass. crowding arm = $n_{Pass} M / \text{disp. } D \cos^n(\phi)$				
	number of passengers: $n_{Pass} =$	0			
	passenger mass: $M =$	0,075	tonne		
	distance from centre line: $D =$	0,000	m		
	cosine power: $n =$	0			
	shall not be greater than (\leq)	10,0	deg	0,0	Pass
	Intermediate values				
	Heel arm amplitude		m	0,000	
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.6: Turn: angle of equilibrium				Pass
	Turn arm: $a v^2 / (R g) h \cos^n(\phi)$				
	constant: $a =$	0,9996			
	vessel speed: $v =$	0,000	kts		
	turn radius, R , as percentage of L_{wl}	510,00	%		
	$h = KG - \text{mean draft} / 2$	6,516	m		
	cosine power: $n =$	0			
	shall not be greater than (\leq)	10,0	deg	0,0	Pass
	Intermediate values				
	Heel arm amplitude		m	0,000	
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.2.2: Severe wind and rolling				Pass
	Wind arm: $a P A (h - H) / (g \text{ disp.}) \cos^n(\phi)$				
	constant: $a =$	0,99966			
	wind pressure: $P =$	504,00	Pa		
	area centroid height (from zero point): $h =$	6,000	m		
	additional area: $A =$	50,000	m ²		
	$H = \text{vert. centre of projected lat. u'water area}$	3,074	m		
	cosine power: $n =$	0			
	gust ratio	1,5			
	Area2 integrated to the lesser of				
	roll back angle from equilibrium (with steady heel arm)	25,0 (-24,3)	deg	-24,3	
	Area 1 upper integration range, to the lesser of:				
	spec. heel angle	50,0	deg	50,0	
	first downflooding angle	n/a	deg		
	angle of vanishing stability (with gust heel arm)	94,4	deg		
	Angle for GZ(max) in GZ ratio, the lesser of:				
	angle of max. GZ	54,5	deg	54,5	
	Select required angle for angle of steady heel ratio:	DeckEdgeImmersionAngle			
	Criteria:				Pass
	Angle of steady heel shall not be greater than (\leq)	16,0	deg	0,7	Pass
	Angle of steady heel / Deck edge immersion angle shall not be greater than (\leq)	80,00	%	1,52	Pass
	Area1 / Area2 shall not be less than	100,00	%	307,57	Pass



Ropax 4000 TPM

Situaciones de carga y resistencia longitudinal

	(>=)				
	Intermediate values				
	Model windage area		m ²	1910,726	
	Model windage area centroid height (from zero point)		m	11,498	
	Total windage area		m ²	1960,726	
	Total windage area centroid height (from zero point)		m	11,357	
	Heel arm amplitude		m	0,058	
	Equilibrium angle with steady heel arm		deg	0,7	
	Equilibrium angle with gust heel arm		deg	1,0	
	Deck edge immersion angle		deg	44,9	
	Area1 (under GZ), from 1,0 to 50,0 deg.		m.deg	83,4741	
	Area1 (under HA), from 1,0 to 50,0 deg.		m.deg	4,2891	
	Area1, from 1,0 to 50,0 deg.		m.deg	79,1850	
	Area2 (under GZ), from -24,3 to 1,0 deg.		m.deg	-23,5255	
	Area2 (under HA), from -24,3 to 1,0 deg.		m.deg	2,2195	
	Area2, from -24,3 to 1,0 deg.		m.deg	25,7450	



Ropax 4000 TPM

Situaciones de carga y resistencia longitudinal

2.2.4. Lastre. Llegada a puerto

En esta condición de carga se dispone del 10% de consumos, 0% de carga, 100% del pasaje con su equipaje y 100% de la dotación con sus pertrechos.

2.2.4.1 Desglose de pesos.

Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m ³	Total Volume m ³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m
Pax	1	100,000	100,000			86,170	0,000	22,500
Trip	1	4,000	4,000			86,170	0,000	25,450
Viveres	1	30,000	30,000			83,700	0,000	20,200
Cargos y pertrechos	1	20,000	20,000			92,680	0,000	22,690
Carga cubierta principal	0	1347,250	0,000			65,800	0,000	12,500
Carga cubierta superior	0	425,250	0,000			75,000	0,000	17,430
Elementos sultos est	1	30,000	30,000			80,000	0,000	14,350
Lightship	1	10282,000	10282,000			75,850	0,000	11,460
HFO_Alm1	10%	154,190	15,419	163,285	16,328	89,600	-3,645	2,180
HFO_Alm2	10%	154,200	15,420	163,296	16,330	89,600	3,645	2,180
HFO_Alm3	10%	154,200	15,420	163,296	16,330	96,000	-3,645	2,180
HFO_Alm4	10%	154,200	15,420	163,296	16,330	96,000	3,645	2,180
HFO_Alm5	10%	90,572	9,057	95,914	9,591	101,215	-3,400	2,180
HFO_Alm6	10%	90,572	9,057	95,914	9,591	101,215	3,400	2,180
HFO_Sed1	10%	108,776	10,878	115,192	11,519	84,200	-3,740	2,180
HFO_Sed2	10%	108,776	10,878	115,192	11,519	84,200	3,740	2,180
HFO_UD1	10%	65,648	6,565	69,520	6,952	84,425	-3,520	5,630
HFO_UD2	10%	65,648	6,565	69,520	6,952	84,425	3,520	5,630
MDF_Alm1	10%	109,321	10,932	130,144	13,014	107,200	-2,905	2,180
MDF_Alm2	10%	109,321	10,932	130,144	13,014	107,200	2,905	2,180
MDF_Sed1	10%	43,512	4,351	51,800	5,180	78,650	-5,480	2,180
MDF_Sed2	10%	43,512	4,351	51,800	5,180	78,650	5,480	2,180
MDF_UD1	10%	19,320	1,932	23,000	2,300	77,950	-5,480	5,630
MDF_UD2	10%	19,320	1,932	23,000	2,300	77,950	5,480	5,630
Aceite_Ret1	100%	7,244	7,244	7,874	7,874	66,000	-6,195	1,650
Aceite_Ret2	100%	7,244	7,244	7,874	7,874	66,000	-3,145	1,650
Aceite_Ret3	100%	7,244	7,244	7,874	7,874	66,000	3,145	1,650
Aceite_Ret4	100%	7,244	7,244	7,874	7,874	66,000	6,195	1,650
Aceite_Alm	100%	21,356	21,356	23,213	23,213	65,700	0,000	1,280
Aceite_Sucio	100%	19,289	19,289	20,966	20,966	71,600	0,000	1,280
Agua dulce1	100%	105,210	105,210	105,210	105,210	42,575	-2,100	3,505
Agua dulce1	100%	105,210	105,210	105,210	105,210	42,575	2,100	3,505
Antiheeling1	50%	272,269	136,135	265,629	132,814	81,588	-11,427	5,275
Antiheeling2	50%	272,269	136,135	265,629	132,814	81,588	11,427	5,275
BW_1	100%	211,096	211,096	205,947	205,947	81,579	-5,367	1,012
BW_2	100%	211,096	211,096	205,947	205,947	81,579	5,367	1,012
BW_3	100%	108,846	108,846	106,191	106,191	95,570	-3,697	1,021
BW_4	100%	108,846	108,846	106,191	106,191	95,570	3,697	1,021
BW_5	100%	131,648	131,648	128,437	128,437	105,418	-2,548	1,050
BW_6	100%	131,648	131,648	128,437	128,437	105,418	2,548	1,050
BW_7	100%	146,833	146,833	143,251	143,251	131,005	-1,887	3,563
BW_8	100%	146,833	146,833	143,251	143,251	131,005	1,887	3,563
BW_9	100%	100,897	100,897	98,436	98,436	121,578	-2,568	3,523
BW_10	100%	100,897	100,897	98,436	98,436	121,578	2,568	3,523
BW_11	100%	41,426	41,426	40,416	40,416	36,800	-2,105	3,505
BW_12	100%	41,426	41,426	40,416	40,416	36,800	2,105	3,505



Ropax 4000 TPM

Situaciones de carga y resistencia longitudinal

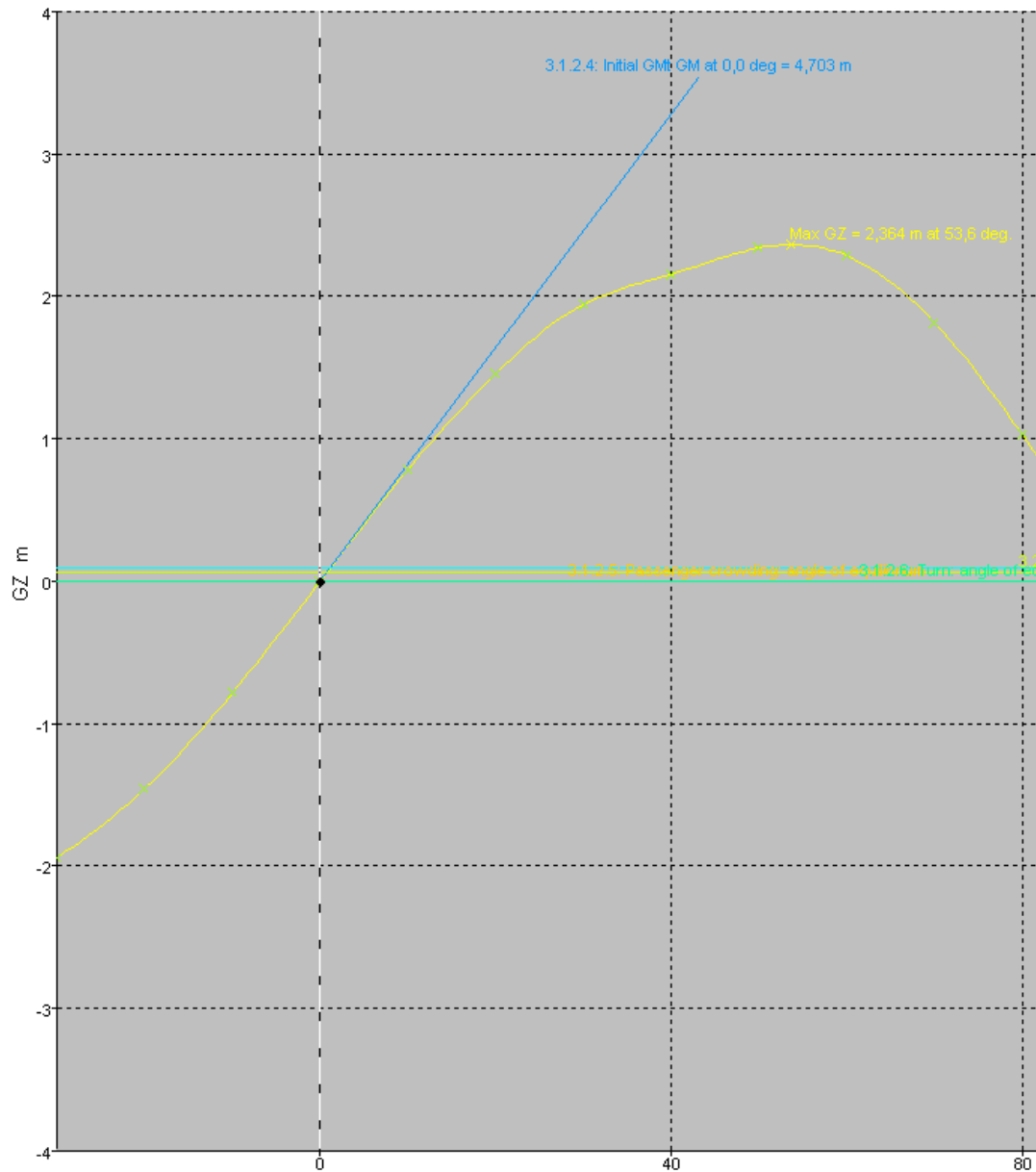
BW_13	0%	67,748	0,000	66,096	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_14	0%	67,748	0,000	66,096	0,000	0,000	0,000	0,000
BW_15	100%	109,519	109,519	106,848	106,848	24,000	-8,315	6,505
BW_16	100%	161,475	161,475	157,536	157,536	24,000	-3,725	6,505
BW_17	100%	161,475	161,475	157,536	157,536	24,000	3,725	6,505
BW_19	100%	102,336	102,336	99,840	99,840	115,200	-2,600	3,505
BW_20	100%	102,336	102,336	99,840	99,840	115,200	2,600	3,505
BW_18	100%	109,519	109,519	106,848	106,848	24,000	8,315	6,505
Total Loadcase			13395,574	4747,667	2887,965	76,962	0,000	9,820
FS correction								0,129
VCG fluid								9,950

2.2.4.2 Características de la situación de equilibrio.

Displacement t	13396
Draft at FP m	5,725
Draft at AP m	5,783
Draft at LCF m	5,750
Trim (+ve by stern) m	0,058
WL Length m	173,960
Beam max extents on WL m	24,996
Wetted Area m ²	4460,737
Waterpl. Area m ²	3334,375
Prismatic coeff. (Cp)	0,540
Block coeff. (Cb)	0,530
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,987
LCB from zero pt. (+ve aft) m	-76,965
LCF from zero pt. (+ve aft) m	-68,531
KB m	3,307
KG fluid m	9,950
BMt m	11,346
BML m	420,219
GMt corrected m	4,703
GML m	413,577
KMt m	14,653
KML m	423,526
Immersion (TPc) tonne/cm	34,177
MTc tonne.m	-346,256
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	1099,604
Max deck inclination deg	0,0207
Trim angle (+ve by stern) deg	179,9793



2.2.4.3 Curva de brazos de estabilidad.





Ropax 4000 TPM

Situaciones de carga y resistencia longitudinal

2.2.4.4 Criterios de estabilidad.

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 30				Pass
	from the greater of				
	spec. heel angle	0,0	deg	0,0	
	to the lesser of				
	spec. heel angle	30,0	deg	30,0	
	angle of vanishing stability	91,2	deg		
	shall not be less than (\geq)	3,1513	m.deg	32,5410	Pass
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 40				Pass
	from the greater of				
	spec. heel angle	0,0	deg	0,0	
	to the lesser of				
	spec. heel angle	40,0	deg	40,0	
	first downflooding angle	n/a	deg		
	angle of vanishing stability	91,2	deg		
	shall not be less than (\geq)	5,1566	m.deg	53,1589	Pass
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 30 to 40				Pass
	from the greater of				
	spec. heel angle	30,0	deg	30,0	
	to the lesser of				
	spec. heel angle	40,0	deg	40,0	
	first downflooding angle	n/a	deg		
	angle of vanishing stability	91,2	deg		
	shall not be less than (\geq)	1,7189	m.deg	20,6179	Pass
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater				Pass
	in the range from the greater of				
	spec. heel angle	30,0	deg	30,0	
	to the lesser of				
	spec. heel angle	90,0	deg		
	angle of max. GZ	53,6	deg	53,6	
	shall not be less than (\geq)	0,200	m	2,364	Pass
	Intermediate values				
	angle at which this GZ occurs		deg	53,6	
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.3: Angle of maximum GZ				Pass
	shall not be less than (\geq)	25,0	deg	53,6	Pass
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.4: Initial GMt				Pass
	spec. heel angle	0,0	deg		
	shall not be less than (\geq)	0,150	m	4,703	Pass
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all	3.1.2.5: Passenger crowding: angle of equilibrium				Pass



Ropax 4000 TPM

Situaciones de carga y resistencia longitudinal

ships					
	Pass. crowding arm = $nPass \cdot M / disp. \cdot D \cdot \cos^n(\phi)$				
	number of passengers: $nPass =$	0			
	passenger mass: $M =$	0,075	tonne		
	distance from centre line: $D =$	0,000	m		
	cosine power: $n =$	0			
	shall not be greater than (\leq)	10,0	deg	0,0	Pass
	Intermediate values				
	Heel arm amplitude		m	0,000	
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.6: Turn: angle of equilibrium				Pass
	Turn arm: $a \cdot v^2 / (R \cdot g) \cdot h \cdot \cos^n(\phi)$				
	constant: $a =$	0,9996			
	vessel speed: $v =$	0,000	kts		
	turn radius, R , as percentage of Lwl	510,00	%		
	$h = KG - \text{mean draft} / 2$	6,943	m		
	cosine power: $n =$	0			
	shall not be greater than (\leq)	10,0	deg	0,0	Pass
	Intermediate values				
	Heel arm amplitude		m	0,000	
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.2.2: Severe wind and rolling				Pass
	Wind arm: $a \cdot P \cdot A \cdot (h - H) / (g \cdot disp.) \cdot \cos^n(\phi)$				
	constant: $a =$	0,99966			
	wind pressure: $P =$	504,00	Pa		
	area centroid height (from zero point): $h =$	6,000	m		
	additional area: $A =$	50,000	m ²		
	$H = \text{vert. centre of projected lat. u'water area}$	2,935	m		
	cosine power: $n =$	0			
	gust ratio	1,5			
	Area2 integrated to the lesser of roll back angle from equilibrium (with steady heel arm)	25,0 (-24,2)	deg	-24,2	
	Area 1 upper integration range, to the lesser of:				
	spec. heel angle	50,0	deg	50,0	
	first downflooding angle	n/a	deg		
	angle of vanishing stability (with gust heel arm)	90,2	deg		
	Angle for $GZ(\max)$ in GZ ratio, the lesser of:				
	angle of max. GZ	53,6	deg	53,6	
	Select required angle for angle of steady heel ratio:	DeckEdgeImmersionAngle			
	Criteria:				Pass
	Angle of steady heel shall not be greater than (\leq)	16,0	deg	0,8	Pass
	Angle of steady heel / Deck edge immersion angle shall not be greater than (\leq)	80,00	%	1,74	Pass
	Area1 / Area2 shall not be less than (\geq)	100,00	%	292,03	Pass
	Intermediate values				
	Model windage area		m ²	1955,855	
	Model windage area centroid height		m	11,368	



Ropax 4000 TPM

Situaciones de carga y resistencia longitudinal

	(from zero point)				
	Total windage area		m ²	2005,855	
	Total windage area centroid height (from zero point)		m	11,235	
	Heel arm amplitude		m	0,064	
	Equilibrium angle with steady heel arm		deg	0,8	
	Equilibrium angle with gust heel arm		deg	1,2	
	Deck edge immersion angle		deg	45,8	
	Area1 (under GZ), from 1,2 to 50,0 deg.		m.deg	75,6474	
	Area1 (under HA), from 1,2 to 50,0 deg.		m.deg	4,6743	
	Area1, from 1,2 to 50,0 deg.		m.deg	70,9731	
	Area2 (under GZ), from -24,2 to 1,2 deg.		m.deg	-21,8708	
	Area2 (under HA), from -24,2 to 1,2 deg.		m.deg	2,4324	
	Area2, from -24,2 to 1,2 deg.		m.deg	24,3032	



3. RESISTENCIA LONGITUDINAL

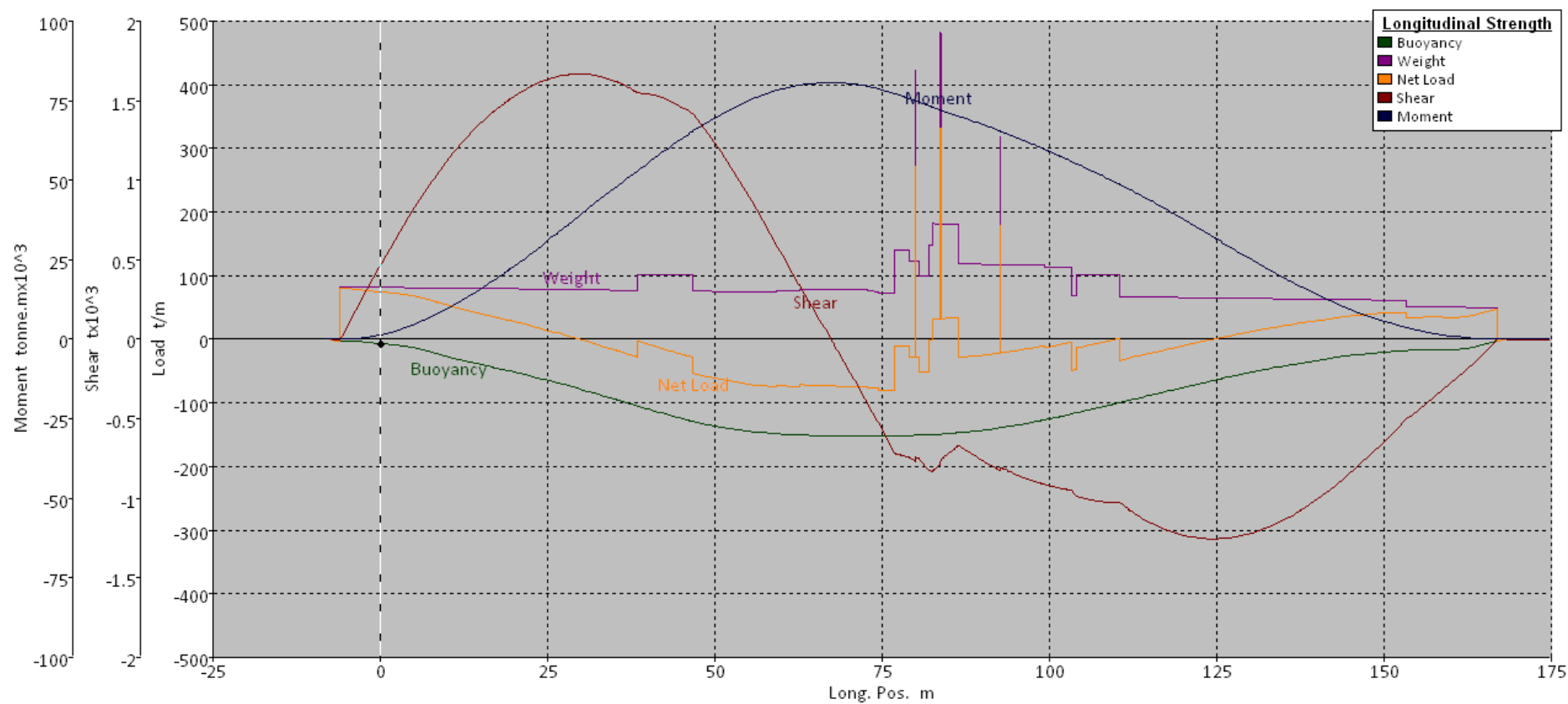
3.1. Resultados

3.1.1. Plena carga – Salida de puerto.

Name	Long. Pos. m	Mass t/m	Buoyancy t/m	Net Load t/m	Shear tonne x10 ³	Moment tonne.m x10 ³
C-1	-8	0	0	0	0	0
C-0_5	-4	3,514	82,24	78,726	0,156	0,159
C0	0	6,658	81,677	75,019	0,464	1,411
C1	8	21,283	80,551	59,268	1,012	7,402
C2	16	42,254	79,967	37,712	1,397	17,152
C3	24	61,93	78,86	16,931	1,618	29,332
C4	32	84,794	77,754	-7,04	1,66	42,577
C5	40	109,791	101,891	-7,9	1,541	55,393
C6	48	132,14	75,583	-56,557	1,348	67,183
C7	56	146,2	74,476	-71,725	0,828	75,945
C8	64	150,844	78,943	-71,901	0,243	80,23
C9	72	152,114	77,835	-74,279	-0,343	79,844
C10	80	150,76	423,132	272,373	-0,753	74,955
C11	88	145,123	118,231	-26,892	-0,711	68,984
C12	96	133,48	117,125	-16,355	-0,869	62,589
C13	104	115,745	101,992	-13,752	-0,985	55,23
C14	112	95,845	66,722	-29,123	-1,075	47,055
C15	120	75,797	65,614	-10,183	-1,232	37,716
C16	128	56,74	64,507	7,767	-1,24	27,722
C17	136	40,192	63,399	23,207	-1,115	18,208
C18	144	26,923	62,291	35,368	-0,877	10,174
C19	152	18,708	60,29	41,582	-0,561	4,373
C20	160	15,884	50,624	34,741	-0,275	1,043
C20_5	164	10,985	50,181	39,196	-0,129	0,222
C21	168	0,787	0	-0,787	0	0,018



Gráfica resistencia longitudinal: Plena carga – Salida de puerto.



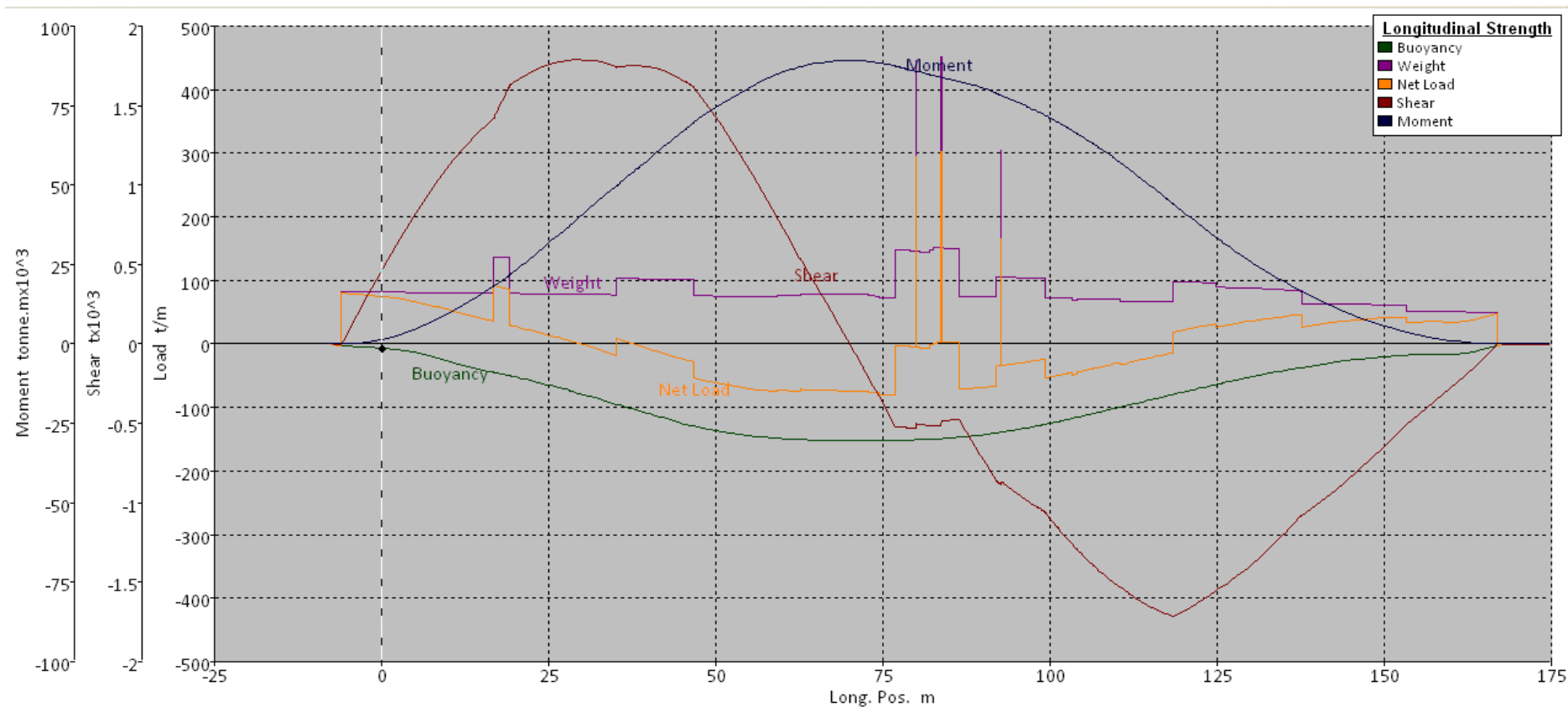


3.1.2. Plena carga – Llegada a puerto.

Name	Long. Pos. m	Mass t/m	Buoyancy t/m	Net Load t/m	Shear tonne x10 ³	Moment tonne.m x10 ³
C-1	-8	0	0	0	0	0
C-0_5	-4	3,897	82,24	78,342	0,155	0,158
C0	0	7,069	81,677	74,608	0,461	1,404
C1	8	21,706	80,551	58,846	1,006	7,364
C2	16	42,643	79,967	37,323	1,388	17,054
C3	24	62,276	78,86	16,584	1,741	29,963
C4	32	85,094	77,754	-7,34	1,781	44,185
C5	40	110,043	101,891	-8,152	1,742	58,226
C6	48	132,342	75,583	-56,759	1,547	71,621
C7	56	146,352	74,476	-71,877	1,026	81,976
C8	64	150,946	78,943	-72,003	0,44	87,843
C9	72	152,167	77,835	-74,331	-0,146	89,033
C10	80	150,762	446,207	295,445	-0,517	85,764
C11	88	145,075	74,866	-70,209	-0,589	81,726
C12	96	133,382	104,032	-29,35	-0,97	75,17
C13	104	115,602	71,247	-44,354	-1,292	66,272
C14	112	95,665	66,722	-28,943	-1,578	54,702
C15	120	75,598	97,496	21,898	-1,682	41,39
C16	128	56,541	88,576	32,035	-1,46	28,774
C17	136	40,019	84,527	44,508	-1,15	18,254
C18	144	26,797	62,291	35,494	-0,878	10,18
C19	152	18,648	60,29	41,641	-0,562	4,374
C20	160	15,854	50,624	34,771	-0,275	1,042
C20_5	164	10,929	50,181	39,252	-0,129	0,221
C21	168	0,781	0	-0,781	0	0,017



Gráfica resistencia longitudinal: Plena carga – Llegada a puerto.



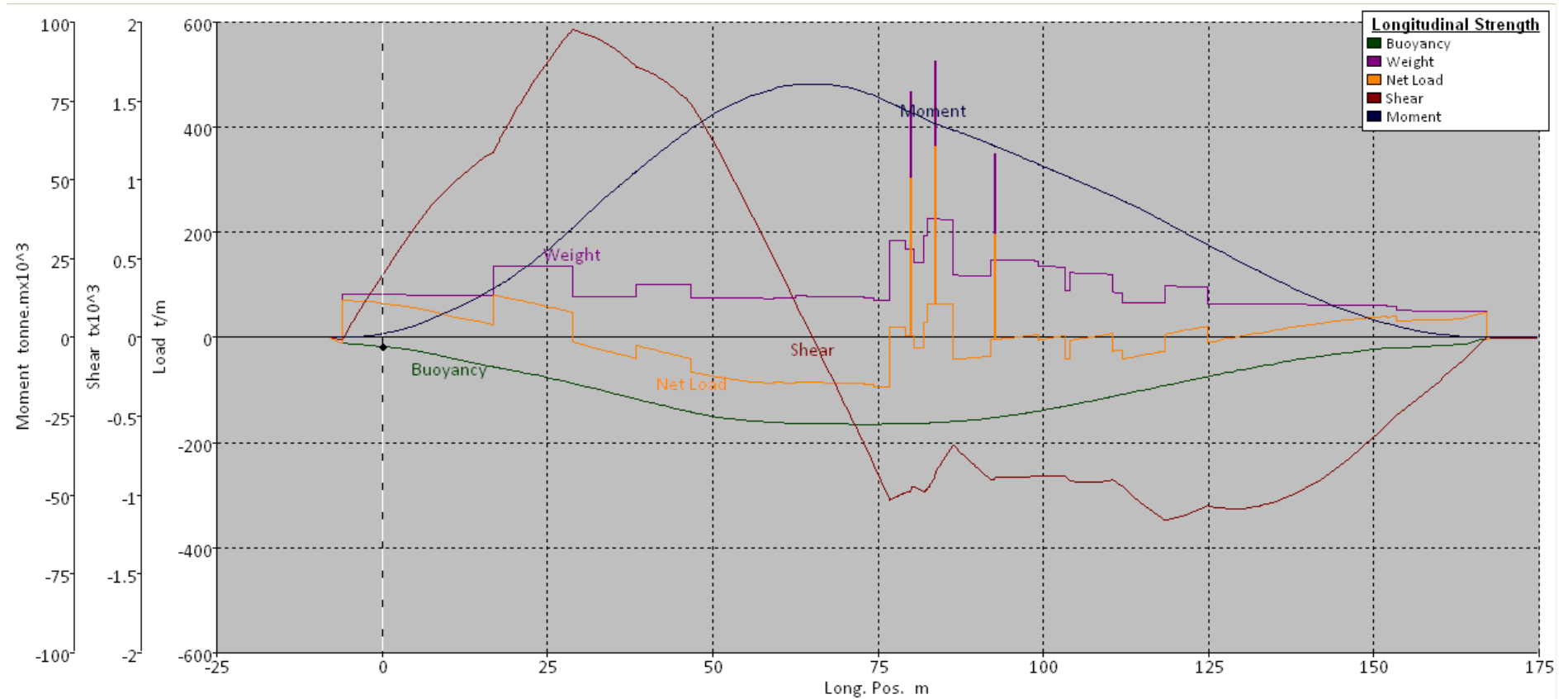


3.1.3. Lastre – Salida de puerto.

Name	Long. Pos. m	Mass t/m	Buoyancy t/m	Net Load t/m	Shear tonne x10 ³	Moment tonne.m x10 ³
C-1	-8	0	0	0	0	0
C-0_5	-4	12,784	82,24	69,456	0,127	0,136
C0	0	16,784	81,677	64,893	0,397	1,222
C1	8	32,398	80,551	48,154	0,859	6,387
C2	16	53,786	79,967	26,181	1,154	14,601
C3	24	73,758	135,317	61,56	1,688	25,972
C4	32	96,857	77,754	-19,103	1,906	40,958
C5	40	122,043	101,891	-20,153	1,69	55,394
C6	48	144,542	75,583	-68,959	1,398	68,019
C7	56	158,744	74,476	-84,268	0,779	76,823
C8	64	163,529	78,943	-84,586	0,094	80,346
C9	72	164,941	77,835	-87,106	-0,594	78,387
C10	80	163,728	467,368	303,64	-0,965	71,331
C11	88	158,232	118,231	-40,001	-0,747	64,62
C12	96	146,723	147,398	0,675	-0,887	57,785
C13	104	128,855	123,203	-5,651	-0,91	50,734
C14	112	108,348	66,722	-41,626	-0,943	43,416
C15	120	87,128	97,496	10,368	-1,144	34,801
C16	128	66,343	64,507	-1,837	-1,085	26,022
C17	136	47,547	63,399	15,852	-1,028	17,471
C18	144	31,749	62,291	30,543	-0,838	9,934
C19	152	20,888	60,29	39,402	-0,55	4,321
C20	160	16,048	50,624	34,577	-0,271	1,038
C20_5	164	11,885	50,181	38,296	-0,128	0,227
C21	168	0,861	0	-0,861	0	0,023



Gráfica resistencia longitudinal: Lastre – Salida de puerto.



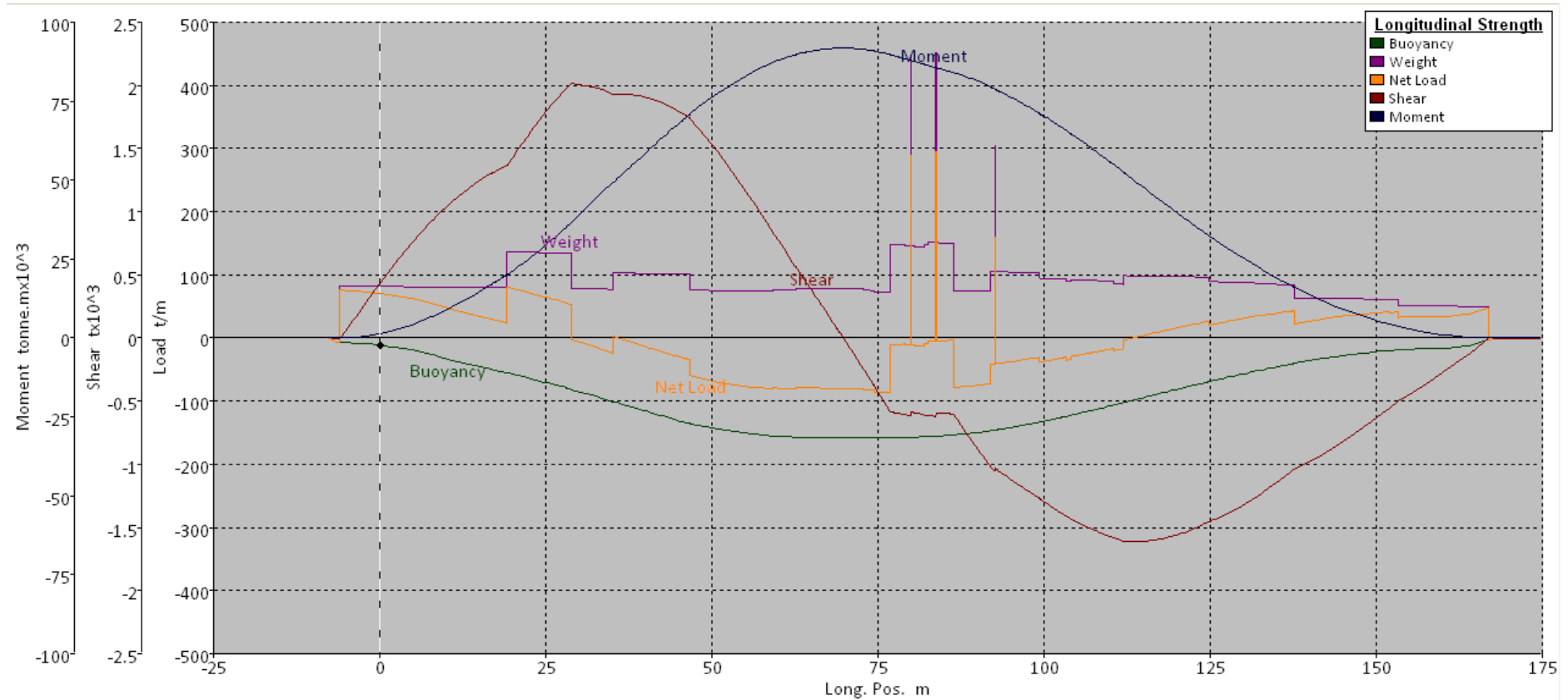


3.1.4. Lastre – Llegada a puerto.

Name	Long. Pos. m	Mass t/m	Buoyancy t/m	Net Load t/m	Shear tonne x10 ³	Moment tonne.m x10 ³
C-1	-8	0	0	0	0	0
C-0_5	-4	7,927	82,24	74,313	0,143	0,148
C0	0	11,56	81,677	70,117	0,432	1,321
C1	8	26,787	80,551	53,764	0,938	6,914
C2	16	47,989	79,967	31,978	1,278	15,914
C3	24	67,823	135,317	67,494	1,724	27,628
C4	32	90,812	77,754	-13,058	1,989	43,066
C5	40	115,911	101,891	-14,02	1,904	58,605
C6	48	138,339	75,583	-62,756	1,662	73,125
C7	56	152,472	74,476	-77,996	1,093	84,219
C8	64	157,188	78,943	-78,245	0,458	90,435
C9	72	158,531	77,835	-80,696	-0,179	91,574
C10	80	157,249	446,209	288,96	-0,601	87,847
C11	88	151,685	74,848	-76,837	-0,726	82,935
C12	96	140,11	104,027	-36,082	-1,16	75,082
C13	104	122,29	92,436	-29,854	-1,432	64,707
C14	112	102,064	98,702	-3,362	-1,61	52,466
C15	120	81,406	97,496	16,09	-1,559	39,682
C16	128	61,466	88,576	27,109	-1,38	27,878
C17	136	43,788	84,527	40,739	-1,105	17,857
C18	144	29,257	62,291	33,034	-0,858	10,042
C19	152	19,734	60,29	40,556	-0,555	4,338
C20	160	15,996	50,624	34,628	-0,272	1,038
C20_5	164	11,631	50,181	38,55	-0,128	0,224
C21	168	0,843	0	-0,843	0	0,021



Gráfica resistencia longitudinal: Lastre – Entrada a puerto.





Situaciones de carga y

Ropax 4000 TPM resistencia longitudinal

3.2. Comprobación del cumplimiento de los requerimientos de resistencia longitudinal.

Una vez presentadas las Condiciones de Carga, objetivo fundamental del estudio de este cuadernillo, pasamos a comprobar cómo se comporta la estructura en las distintas situaciones de carga.

Para obtener la distribución de esfuerzos en cada condición de carga es necesario conocer la distribución de carga y empuje en cada una de las mismas. Se tienen en cuenta todos los elementos que contribuyen a crear la ley de esfuerzos cortantes y momentos flectores.

Se obtendrá de la distribución del empuje para la flotación de equilibrio en cada condición de carga.

La curva de cargas netas se obtiene por diferencia entre las dos distribuciones anteriores. El valor de esfuerzo cortante $Q(x)$ en cada cuaderna se obtiene por integración hasta esa cuaderna, de la curva de cargas netas. El valor del momento flector $MF(x)$ en cada cuaderna se obtiene por integración de la curva de esfuerzos cortantes hasta esa cuaderna.

Como criterio de signos designamos positivos los pesos y negativos los empujes, de tal modo que una condición de quebranto corresponden a una curva de momentos positiva y una condición de arrufo a una curva de momentos negativos.

A continuación se muestra un resumen de los momentos y esfuerzos máximos para cada situación de carga, los cuales cumplen las exigencias de resistencia longitudinal establecidas en el cuaderno de estructuras.

Resistencia longitudinal	Salida Plena carga	Llegada Plena carga	Salida Lastre	Llegada Lastre
Sección Momento flector máximo (m)	67,25	70,20	64,90	69,62
Momento flector máximo (kNm)	791063	874816	788716	900257
Sección Esfuerzo cortante máximo (m.)	28,81	28,81	28,80	28,80
Esfuerzo cortante máximo (kN)	16347	17540	19136	19764



4. ESTABILIDAD EN AVERÍAS, SOLAS 2009.

4.1 Criterio probabilístico

El concepto probabilístico después de averías introduce la probabilidad como una forma de medir el grado de seguridad del buque tras sufrir una avería.

El grado de seguridad del buque se hace corresponder con un valor numérico A denominado índice de subdivisión alcanzado. De esta forma dos buques que tengan el mismo valor de A se consideran que tienen el mismo grado de seguridad.

Para que un buque disponga de un grado de seguridad suficiente este índice de subdivisión debe ser igual o mayor que el índice de subdivisión requerido R. Este índice R se calcula mediante la siguiente expresión;

$$R = 1 - \frac{5000}{L_s + 2,5N + 15225}$$

Siendo:

- L_s la eslora de subdivisión del buque que se define como la máxima eslora de trazado que tiene el buque por debajo de la línea límite de inmersión
- N es la suma de N_1 más dos veces N_2 . N_1 corresponde al número de pasajeros con plaza en bote salvavidas y N_2 el número de personas (incluida tripulación) al que no corresponde bote salvavidas

Así pues sustituyendo en este caso se tiene que:

$$R = 1 - \frac{5000}{173,2 + 2,5(260 + 2(580)) + 15225} = 0,736$$

Por tanto se cumplirá con SOLAS 2009 cuando el índice A para este buque iguale o supere este valor. El índice de subdivisión se calcula mediante la siguiente expresión:

$$A = 0,4A_s + 0,4A_p + 0,2A_1$$



Cada índice parcial corresponde los calados d_s , d_p , d_1 . Cada índice parcial corresponde a una sumatoria de todos los casos de avería, utilizando la siguiente formula:

$$A = \sum p_i s_i$$

Siendo:

- **d_s** es el calado maximo de compartimentado que es el calado hasta la línea de carga utilizada para determinar el compartimentado del buque. En este caso se considera 6,0 m.
- **d_1** es el calado de servicio en rosca que es el calado correspondiente a la mínima carga prevista. Se tomara igual a 5,49 m.
- **d_p** es el calado parcial que es igual al calado de servicio en rosca más el 60% de la diferencia entre el citado calado y el calado máximo de compartimentado. Se tomara igual a 5,796 m.
- **p_i** es el factor que representa la probabilidad de que solo se inunde el compartimento o grupo de compartimentos considerados.
- **s_i** representa la probabilidad de que el buque conserve la flotabilidad después de que se haya inundado el compartimento o grupo de compartimentos.

En las situaciones de inundación de los compartimentos se utilizará una permeabilidad de 0,95 para los compartimentos exceptuando los de cámara de maquinas que será de 0,85. Al final del cuaderno en el “**Anexo I**” figuran los cálculos de estabilidad en averías de todas las situaciones de inundación de pares de compartimentos y compartimentos individuales, se ha supuesto una profundidad de $B/2$ en la avería para alcanzar el índice de subdivisión requerido.

N_1	260
N_2	580
$L_s(m)$	173,2
$B_2(m)$	25
R	0,736
$0,9R$	0,662
$d_s(m)$	6
$d_1(m)$	5,49
$d_p(m)$	5,796

Para buques de pasaje todos los A_i deben ser mayores de 0,9R.



Como podemos comprobar en los cálculos adjuntos en el anexo, se cumple con el reglamento SOLAS 2009. El índice A calculado para nuestro buque supera el valor de $R = 0,736$. Dicho índice de subdivisión calculado mediante el modulo de Hydromax ultimate tiene un valor de:

$$A = 0,4A_s + 0,4A_p + 0,2A_1 = 0,833058$$



ANEXO 1.

Estabilidad en averías



Ropax 4000 TPM

Situaciones de carga y resistencia longitudinal

	Zones	x1 (aft end of damage from aft terminal of Ls) m	x2 (fwd end of damage from aft terminal of Ls) m	J	Min. damage length m	Combined zone length m	MSC.216(82) p (single zone)	MSC.216(82) p (multiple zone)	Test (Y/N)
1	1 <i>adpace</i>								
2	Zone 1,	0,000	12,830	0,07079	0,000	12,830	0,047246	0,047246	Yes
3	Zone 2,	12,830	25,630	0,07063	0,000	12,800	0,023599	0,023599	Yes
4	Zone 3,	25,630	35,230	0,05297	0,000	9,600	0,013814	0,013814	Yes
5	Zone 4,	35,230	44,830	0,05297	0,000	9,600	0,013814	0,013814	Yes
6	Zone 5,	44,830	60,830	0,08828	0,000	16,000	0,035375	0,035375	Yes
7	Zone 6,	60,830	83,230	0,12360	0,000	22,400	0,063459	0,063459	Yes
8	Zone 7,	83,230	92,830	0,05297	0,000	9,600	0,013814	0,013814	Yes
9	Zone 8,	92,830	105,630	0,07063	0,000	12,800	0,023599	0,023599	Yes
10	Zone 9,	105,630	118,430	0,07063	0,000	12,800	0,023599	0,023599	Yes
11	Zone 10,	118,430	131,230	0,07063	0,000	12,800	0,023599	0,023599	Yes
12	Zone 11,	131,230	144,030	0,07063	0,000	12,800	0,023599	0,023599	Yes
13	Zone 12,	144,030	160,030	0,08828	0,000	16,000	0,035375	0,035375	Yes
14	Zone 13,	160,030	181,232	0,11699	0,000	21,202	0,087414	0,087414	Yes
15							sub total	0,428304	
16							cumulative total	0,428304	
17	2 <i>adpace</i>								
18	Zone 1,	0,000	25,630	0,14142	0,000	25,630	0,110308	0,039464	Yes
19	Zone 2,	12,830	35,230	0,12360	0,000	22,400	0,063459	0,026046	Yes
20	Zone 3,	25,630	44,830	0,10594	0,000	19,200	0,048781	0,021153	Yes
21	Zone 4,	35,230	60,830	0,14126	0,000	25,600	0,079049	0,029860	Yes
22	Zone 5,	44,830	83,230	0,21188	0,000	38,400	0,145459	0,046626	Yes
23	Zone 6,	60,830	92,830	0,17657	0,000	32,000	0,111676	0,034403	Yes
24	Zone 7,	83,230	105,630	0,12360	0,000	22,400	0,063459	0,026046	Yes
25	Zone 8,	92,830	118,430	0,14126	0,000	25,600	0,079049	0,031851	Yes
26	Zone 9,	105,630	131,230	0,14126	0,000	25,600	0,079049	0,031851	Yes
27	Zone 10,	118,430	144,030	0,14126	0,000	25,600	0,079049	0,031851	Yes
28	Zone 11,	131,230	160,030	0,15891	0,000	28,800	0,095194	0,036221	Yes
29	Zone 12,	144,030	181,232	0,20527	0,000	37,202	0,172169	0,049380	Yes
30							sub total	0,404754	



Ropax 4000 TPM

Situaciones de carga y resistencia longitudinal

Description	Status	p factor	r factor	v factor	p.r.v	K	s final	s intermed	s moment	s factor	A factor	R (Required value)	Pass / fail
Deepest subdivision draft (summer loadline) Loadcase													
Deepest: Z 1; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,04725	1	0,30698	0,01450	1	1	1	1	1	0,01450		
Deepest: Z 1; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,04725	1	0,69302	0,03274	1	1	1	1	1	0,03274		
Deepest: Z 2; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,02360	1	0,30698	0,00724	1	1	1	1	1	0,00724		
Deepest: Z 2; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,02360	1	0,69302	0,01636	1	1	1	1	1	0,01636		
Deepest: Z 3; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,01381	1	0,30698	0,00424	1	1	1	1	1	0,00424		
Deepest: Z 3; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,01381	1	0,69302	0,00957	1	1	1	1	1	0,00957		
Deepest: Z 4; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,01381	1	0,30698	0,00424	1	1	1	1	1	0,00424		
Deepest: Z 4; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,01381	1	0,69302	0,00957	1	1	1	1	1	0,00957		
Deepest: Z 5; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,03538	1	0,30698	0,01086	1	1	1	1	1	0,01086		
Deepest: Z 5; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,03538	1	0,69302	0,02452	1	1	1	1	1	0,02452		
Deepest: Z 6; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,06346	1	0,30698	0,01948	1	1	1	1	1	0,01948		
Deepest: Z 6; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,06346	1	0,69302	0,04398	1	1	1	1	1	0,04398		
Deepest: Z 7; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,01381	1	0,30698	0,00424	1	1	1	1	1	0,00424		
Deepest: Z 7; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,01381	1	0,69302	0,00957	1	1	1	1	1	0,00957		
Deepest: Z 8; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,02360	1	0,30698	0,00724	1	1	1	1	1	0,00724		
Deepest: Z 8; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,02360	1	0,69302	0,01636	1	1	1	1	1	0,01636		
Deepest: Z 9; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,02360	1	0,30698	0,00724	1	1	1	1	1	0,00724		
Deepest: Z 9; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,02360	1	0,69302	0,01636	1	1	1	1	1	0,01636		
Deepest: Z10; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,02360	1	0,30698	0,00724	1	1	1	1	1	0,00724		
Deepest: Z10; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,02360	1	0,69302	0,01636	1	1	1	1	1	0,01636		
Deepest: Z11; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,02360	1	0,30698	0,00724	1	1	1	1	1	0,00724		
Deepest: Z11; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,02360	1	0,69302	0,01636	1	1	1	1	1	0,01636		
Deepest: Z12; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,03538	1	0,30698	0,01086	1	1	1	1	1	0,01086		
Deepest: Z12; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,03538	1	0,69302	0,02452	1	1	1	1	1	0,02452		



Ropax 4000 TPM

Situaciones de carga y resistencia longitudinal

Deepest: Z13; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,08741	1	0,30698	0,02683	1	1	1	1	1	0,02683		
Deepest: Z13; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,08741	1	0,69302	0,06058	1	1	1	1	1	0,06058		
Deepest: Z 1, 2; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,03946	1	0,30698	0,01211	1	1	1	1	1	0,01211		
Deepest: Z 1, 2; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,03946	1	0,69302	0,02735	1	1	1	1	1	0,02735		
Deepest: Z 2, 2; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,02605	1	0,30698	0,00800	1	1	1	1	1	0,00800		
Deepest: Z 2, 2; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,02605	1	0,69302	0,01805	1	1	1	1	1	0,01805		
Deepest: Z 3, 2; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,02115	1	0,30698	0,00649	1	1	1	1	1	0,00649		
Deepest: Z 3, 2; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,02115	1	0,69302	0,01466	1	1	1	1	1	0,01466		
Deepest: Z 4, 2; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,02986	1	0,30698	0,00917	1	1	1	1	1	0,00917		
Deepest: Z 4, 2; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,02986	1	0,69302	0,02069	1	1	1	1	1	0,02069		
Deepest: Z 5, 2; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,04663	1	0,30698	0,01431	1	1	1	1	1	0,01431		
Deepest: Z 5, 2; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,04663	1	0,69302	0,03231	1	1	1	1	1	0,03231		
Deepest: Z 6, 2; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,03440	1	0,30698	0,01056	1	1	1	1	1	0,01056		
Deepest: Z 6, 2; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,03440	1	0,69302	0,02384	1	1	1	1	1	0,02384		
Deepest: Z 7, 2; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,02605	1	0,30698	0,00800	1	1	1	1	1	0,00800		
Deepest: Z 7, 2; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,02605	1	0,69302	0,01805	1	1	1	1	1	0,01805		
Deepest: Z 8, 2; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,03185	1	0,30698	0,00978	1	1	1	1	1	0,00978		
Deepest: Z 8, 2; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,03185	1	0,69302	0,02207	1	1	1	1	1	0,02207		
Deepest: Z 9, 2; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,03185	1	0,30698	0,00978	1	1	1	1	1	0,00978		
Deepest: Z 9, 2; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,03185	1	0,69302	0,02207	1	1	1	1	1	0,02207		
Deepest: Z10, 2; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,03185	1	0,30698	0,00978	1	1	1	1	1	0,00978		
Deepest: Z10, 2; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,03185	1	0,69302	0,02207	1	1	1	1	1	0,02207		
Deepest: Z11, 2; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,03622	1	0,30698	0,01112	1	1	1	1	1	0,01112		
Deepest: Z11, 2; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,03622	1	0,69302	0,02510	1	1	1	1	1	0,02510		
Deepest: Z12, 2; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,04938	1	0,30698	0,01516	1	1	1	1	1	0,01516		
Deepest: Z12, 2; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,04938	1	0,69302	0,03422	1	1	1	1	1	0,03422		
Attained partial index As				0,83306				0,83306				0,66261	Pass



Ropax 4000 TPM

Situaciones de carga y resistencia longitudinal

Description	Status	p factor	r factor	v factor	p.r.v	K	s final	s intermed	s moment	s factor	A factor	R (Required value)	pass/ fail
Partial subdivision draft Loadcase													
Partial: Z 1; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,04725	1	0,32785	0,01549	1	1	1	1	1	0,01549		
Partial: Z 1; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,04725	1	0,67215	0,03176	1	1	1	1	1	0,03176		
Partial: Z 2; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,02360	1	0,32785	0,00774	1	1	1	1	1	0,00774		
Partial: Z 2; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,02360	1	0,67215	0,01586	1	1	1	1	1	0,01586		
Partial: Z 3; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,01381	1	0,32785	0,00453	1	1	1	1	1	0,00453		
Partial: Z 3; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,01381	1	0,67215	0,00929	1	1	1	1	1	0,00929		
Partial: Z 4; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,01381	1	0,32785	0,00453	1	1	1	1	1	0,00453		
Partial: Z 4; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,01381	1	0,67215	0,00929	1	1	1	1	1	0,00929		
Partial: Z 5; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,03538	1	0,32785	0,01160	1	1	1	1	1	0,01160		
Partial: Z 5; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,03538	1	0,67215	0,02378	1	1	1	1	1	0,02378		
Partial: Z 6; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,06346	1	0,32785	0,02081	1	1	1	1	1	0,02081		
Partial: Z 6; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,06346	1	0,67215	0,04265	1	1	1	1	1	0,04265		
Partial: Z 7; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,01381	1	0,32785	0,00453	1	1	1	1	1	0,00453		
Partial: Z 7; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,01381	1	0,67215	0,00929	1	1	1	1	1	0,00929		
Partial: Z 8; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,02360	1	0,32785	0,00774	1	1	1	1	1	0,00774		
Partial: Z 8; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,02360	1	0,67215	0,01586	1	1	1	1	1	0,01586		
Partial: Z 9; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,02360	1	0,32785	0,00774	1	1	1	1	1	0,00774		
Partial: Z 9; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,02360	1	0,67215	0,01586	1	1	1	1	1	0,01586		
Partial: Z10; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,02360	1	0,32785	0,00774	1	1	1	1	1	0,00774		
Partial: Z10; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,02360	1	0,67215	0,01586	1	1	1	1	1	0,01586		
Partial: Z11; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,02360	1	0,32785	0,00774	1	1	1	1	1	0,00774		
Partial: Z11; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,02360	1	0,67215	0,01586	1	1	1	1	1	0,01586		
Partial: Z12; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,03538	1	0,32785	0,01160	1	1	1	1	1	0,01160		
Partial: Z12; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,03538	1	0,67215	0,02378	1	1	1	1	1	0,02378		



Ropax 4000 TPM

Situaciones de carga y resistencia longitudinal

Partial: Z13; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,08741	1	0,32785	0,02866	1	1	1	1	1	0,02866
Partial: Z13; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,08741	1	0,67215	0,05876	1	1	1	1	1	0,05876
Partial: Z 1, 2; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,03946	1	0,32785	0,01294	1	1	1	1	1	0,01294
Partial: Z 1, 2; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,03946	1	0,67215	0,02653	1	1	1	1	1	0,02653
Partial: Z 2, 2; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,02605	1	0,32785	0,00854	1	1	1	1	1	0,00854
Partial: Z 2, 2; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,02605	1	0,67215	0,01751	1	1	1	1	1	0,01751
Partial: Z 3, 2; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,02115	1	0,32785	0,00694	1	1	1	1	1	0,00694
Partial: Z 3, 2; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,02115	1	0,67215	0,01422	1	1	1	1	1	0,01422
Partial: Z 4, 2; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,02986	1	0,32785	0,00979	1	1	1	1	1	0,00979
Partial: Z 4, 2; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,02986	1	0,67215	0,02007	1	1	1	1	1	0,02007
Partial: Z 5, 2; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,04663	1	0,32785	0,01529	1	1	1	1	1	0,01529
Partial: Z 5, 2; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,04663	1	0,67215	0,03134	1	1	1	1	1	0,03134
Partial: Z 6, 2; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,03440	1	0,32785	0,01128	1	1	1	1	1	0,01128
Partial: Z 6, 2; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,03440	1	0,67215	0,02312	1	1	1	1	1	0,02312
Partial: Z 7, 2; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,02605	1	0,32785	0,00854	1	1	1	1	1	0,00854
Partial: Z 7, 2; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,02605	1	0,67215	0,01751	1	1	1	1	1	0,01751
Partial: Z 8, 2; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,03185	1	0,32785	0,01044	1	1	1	1	1	0,01044
Partial: Z 8, 2; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,03185	1	0,67215	0,02141	1	1	1	1	1	0,02141
Partial: Z 9, 2; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,03185	1	0,32785	0,01044	1	1	1	1	1	0,01044
Partial: Z 9, 2; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,03185	1	0,67215	0,02141	1	1	1	1	1	0,02141
Partial: Z10, 2; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,03185	1	0,32785	0,01044	1	1	1	1	1	0,01044
Partial: Z10, 2; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,03185	1	0,67215	0,02141	1	1	1	1	1	0,02141
Partial: Z11, 2; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,03622	1	0,32785	0,01188	1	1	1	1	1	0,01188
Partial: Z11, 2; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,03622	1	0,67215	0,02435	1	1	1	1	1	0,02435
Partial: Z12, 2; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,04938	1	0,32785	0,01619	1	1	1	1	1	0,01619
Partial: Z12, 2; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,04938	1	0,67215	0,03319	1	1	1	1	1	0,03319
Attained partial index Ap		0,83306				0,83306				0,66261	Pass



Ropax 4000 TPM

Situaciones de carga y resistencia longitudinal

Description	Status	p factor	r factor	v factor	p.r.v	K	s final	s intermed	s moment	s factor	A factor	R (Required value)	pass/fail
Light subdivision draft Loadcase													
Light: Z 1; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,04725	1	0,36002	0,01701	1	1	1	1	1	0,01701		
Light: Z 1; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,04725	1	0,63998	0,03024	1	1	1	1	1	0,03024		
Light: Z 2; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,02360	1	0,36002	0,00850	1	1	1	1	1	0,00850		
Light: Z 2; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,02360	1	0,63998	0,01510	1	1	1	1	1	0,01510		
Light: Z 3; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,01381	1	0,36002	0,00497	1	1	1	1	1	0,00497		
Light: Z 3; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,01381	1	0,63998	0,00884	1	1	1	1	1	0,00884		
Light: Z 4; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,01381	1	0,36002	0,00497	1	1	1	1	1	0,00497		
Light: Z 4; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,01381	1	0,63998	0,00884	1	1	1	1	1	0,00884		
Light: Z 5; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,03538	1	0,36002	0,01274	1	1	1	1	1	0,01274		
Light: Z 5; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,03538	1	0,63998	0,02264	1	1	1	1	1	0,02264		
Light: Z 6; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,06346	1	0,36002	0,02285	1	1	1	1	1	0,02285		
Light: Z 6; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,06346	1	0,63998	0,04061	1	1	1	1	1	0,04061		
Light: Z 7; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,01381	1	0,36002	0,00497	1	1	1	1	1	0,00497		
Light: Z 7; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,01381	1	0,63998	0,00884	1	1	1	1	1	0,00884		
Light: Z 8; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,02360	1	0,36002	0,00850	1	1	1	1	1	0,00850		
Light: Z 8; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,02360	1	0,63998	0,01510	1	1	1	1	1	0,01510		
Light: Z 9; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,02360	1	0,36002	0,00850	1	1	1	1	1	0,00850		
Light: Z 9; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,02360	1	0,63998	0,01510	1	1	1	1	1	0,01510		
Light: Z10; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,02360	1	0,36002	0,00850	1	1	1	1	1	0,00850		
Light: Z10; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,02360	1	0,63998	0,01510	1	1	1	1	1	0,01510		



Ropax 4000 TPM

Situaciones de carga y resistencia longitudinal

Light: Z11; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,02360	1	0,36002	0,00850	1	1	1	1	1	0,00850
Light: Z11; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,02360	1	0,63998	0,01510	1	1	1	1	1	0,01510
Light: Z12; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,03538	1	0,36002	0,01274	1	1	1	1	1	0,01274
Light: Z12; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,03538	1	0,63998	0,02264	1	1	1	1	1	0,02264
Light: Z13; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,08741	1	0,36002	0,03147	1	1	1	1	1	0,03147
Light: Z13; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,08741	1	0,63998	0,05594	1	1	1	1	1	0,05594
Light: Z 1, 2; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,03946	1	0,36002	0,01421	1	1	1	1	1	0,01421
Light: Z 1, 2; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,03946	1	0,63998	0,02526	1	1	1	1	1	0,02526
Light: Z 2, 2; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,02605	1	0,36002	0,00938	1	1	1	1	1	0,00938
Light: Z 2, 2; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,02605	1	0,63998	0,01667	1	1	1	1	1	0,01667
Light: Z 3, 2; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,02115	1	0,36002	0,00762	1	1	1	1	1	0,00762
Light: Z 3, 2; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,02115	1	0,63998	0,01354	1	1	1	1	1	0,01354
Light: Z 4, 2; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,02986	1	0,36002	0,01075	1	1	1	1	1	0,01075
Light: Z 4, 2; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,02986	1	0,63998	0,01911	1	1	1	1	1	0,01911
Light: Z 5, 2; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,04663	1	0,36002	0,01679	1	1	1	1	1	0,01679
Light: Z 5, 2; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,04663	1	0,63998	0,02984	1	1	1	1	1	0,02984
Light: Z 6, 2; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,03440	1	0,36002	0,01239	1	1	1	1	1	0,01239
Light: Z 6, 2; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,03440	1	0,63998	0,02202	1	1	1	1	1	0,02202
Light: Z 7, 2; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,02605	1	0,36002	0,00938	1	1	1	1	1	0,00938
Light: Z 7, 2; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,02605	1	0,63998	0,01667	1	1	1	1	1	0,01667
Light: Z 8, 2; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,03185	1	0,36002	0,01147	1	1	1	1	1	0,01147
Light: Z 8, 2; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,03185	1	0,63998	0,02038	1	1	1	1	1	0,02038
Light: Z 9, 2; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,03185	1	0,36002	0,01147	1	1	1	1	1	0,01147



Ropax 4000 TPM

Situaciones de carga y resistencia longitudinal

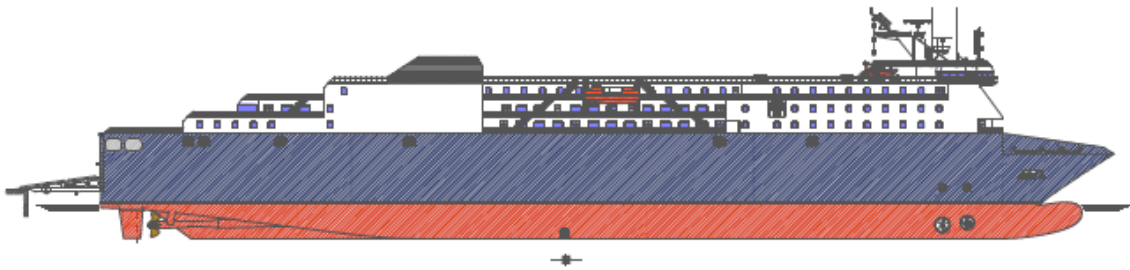
Light: Z 9, 2; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,03185	1	0,63998	0,02038	1	1	1	1	1	0,02038	
Light: Z10, 2; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,03185	1	0,36002	0,01147	1	1	1	1	1	0,01147	
Light: Z10, 2; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,03185	1	0,63998	0,02038	1	1	1	1	1	0,02038	
Light: Z11, 2; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,03622	1	0,36002	0,01304	1	1	1	1	1	0,01304	
Light: Z11, 2; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,03622	1	0,63998	0,02318	1	1	1	1	1	0,02318	
Light: Z12, 2; H 1 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,04938	1	0,36002	0,01778	1	1	1	1	1	0,01778	
Light: Z12, 2; H 2 (Heel to starboard)	GZ curve completed successfully	0,04938	1	0,63998	0,03160	1	1	1	1	1	0,03160	
Attained partial index AI				0,83306						0,83306	0,66261	Pass
Attained subdivision index										0,83306	0,73623	Pass
MSC.216(82)												Pass



Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales

Proyecto Fin de Carrera nº034

ROPAX 4000 TPM



Cuaderno 13

Presupuesto

Tutor:

José María Riola Rodríguez

Alumno:

Francisco Sastre Guasch



Índice

1. Introducción	3
2. Presupuesto.....	4
2.1. Costes varios del astillero.....	4
2.2. Costes del acero	4
2.3 Coste de la mano de obra	4
2.4 Coste de la maquinaria.....	5
2.5. Coste de habilitación y equipos	6
3. Resumen del presupuesto.....	7



1. Introducción

El cálculo del presupuesto se basa en precios sometidos a las leyes del mercado el cual es bastante inestable, por lo que tendrá una validez temporal muy breve. Se intentará, por tanto, dar un planteamiento lo más genérico posible con el fin de hacerlo más duradero.

Además, el presupuesto del buque está incluido en la espiral del proyecto y sometido, por tanto, al proceso cíclico e iterativo característico de todo proyecto. En consecuencia el desarrollo del presupuesto se limitará a una primera estimación simplificada. Para cálculos más ajustados, cada astillero ha desarrollado sus propios procedimientos, utilizando sus propias estadísticas basadas en su libro de conceptos.

En este cuadernillo se realiza un presupuesto preliminar de construcción del buque, que se divide en las siguientes partidas:

- Costes varios del astillero.
- Coste del acero.
- Coste de la mano de obra.
- Coste de la maquinaria.
- Coste de habilitación y equipos.



2. Presupuesto

Hemos subdividido el presupuesto, como ya hemos dicho anteriormente, en diferentes partidas.

2.1. Costes varios del astillero

En este apartado de costes vamos a tener en cuenta los gastos debidos a la ejecución del proyecto, los costes referentes a la clasificación del buque, los reglamentos y certificados que deben expedirse, las pruebas necesarias en canales de experiencia hidrodinámicas y por último la garantía del mismo.

Costes varios del astillero	
Concepto	Importe (€)
Proyecto	2000000
Clasificación, reglamentos y certificados	80000
Pruebas y garantía	50000
Total	2130000

2.2. Costes del acero

El precio aproximado de la tonelada de acero naval en sus diferentes configuraciones (perfiles, planchas y otras piezas) es del orden de 650 €/T. Al peso de acero se debe añadir un 10% en sobrantes que se pierden durante la fase de construcción.

Coste del acero (650 €/ton)	
Concepto	Importe (€)
Acero (chapas, refuerzos y perfiles)	4550000
Piezas fundidas, timones y otros	300000
Total	4850000

2.3 Coste de la mano de obra

El precio medio de la mano de obra en España es del orden de 50 €/hora. Para este tipo de buque se necesitarán alrededor de 80 horas de trabajo por cada tonelada de acero.

Además, el armamento necesitará aproximadamente unas 600000 horas de trabajo. Con todo esto, el presupuesto para la mano de obra resulta:

Coste mano de obra (50 €/hora)	
Concepto	Importe (€)
Acero (75 horas/ton)	26250000
Armamento (600000)	30000000
Total	56250000



2.4 Coste de la maquinaria

Realizaremos un desglose de las diferentes partidas que componen la maquinaria:

- Equipos principales
- Equipos auxiliares
- Varios del grupo de máquinas

En el caso de los equipos principales, el presupuesto es:

Costes Maquinaria Principal	
Concepto	Importe (€)
MMPP (215 €/BHP)	10033405
Reductoros (80 €/BHP)	3733360
Ejes, bocinas, hélices y chumaceras (185 €/BHP)	8633395
MMAA (185 €/BHP)	893180
Grupo emergencia (185 €/BHP)	206460
Total	23499800

En el caso de los equipos auxiliares, el presupuesto es:

Costes Maquinaria Auxiliar	
Concepto	Importe (€)
Purificadoras	260000
Bombas de varias maquinas	200000
Botellas Arranque	40000
Compresores	450000
Generadores agua dulce	160000
Calderetas gases de escape	300000
Bombas de lastre y contraincendios	250000
Ventiladores de máquinas	150000
Bombas de vacio y tratamiento de aguas negras	140000
Total	1950000



En este apartado se desglosan los costes de aquellos elementos de cámara de máquinas que no se han tenido en cuenta en las anteriores partidas, el presupuesto es:

Costes varios máquinas	
Concepto	Importe (€)
Silenciadores y tubos de escape	80000
Respetos y herramientas	60000
Tuberías	450000
Válvulas	150000
Cableado	250000
Escalas y accesos	30000
Polines	60000
Aislamientos	60000
Total	1140000

2.5. Coste de habilitación y equipos

Las diferentes partidas consideradas en el caso de los equipos y habilitación son:

Costes habilitación y equipos	
Concepto	Importe (€)
Amarre y fondeo	150000
Sistema de gobierno y maniobra	600000
Sistema de estabilización	1000000
Control computerizado del buque	3000000
Pintura	800000
Salones	4000000
Camarotes	5000000
Aire acondicionado	3000000
Ascensores	80000
Ventilación de cubiertas de carga	300000
Dispositivos de salvamento	1000000
Sistema de baldeo y contraincendios	1000000
Puertas y ventanas	150000
Total	20080000



3. Resumen del presupuesto

Una vez calculadas todas las partidas de nuestro buque, podremos calcular el coste total del buque. A dicho valor le añadiremos un 6% en concepto de beneficio industrial del astillero. Por tanto el presupuesto total asciende a 116.493.788 euros.

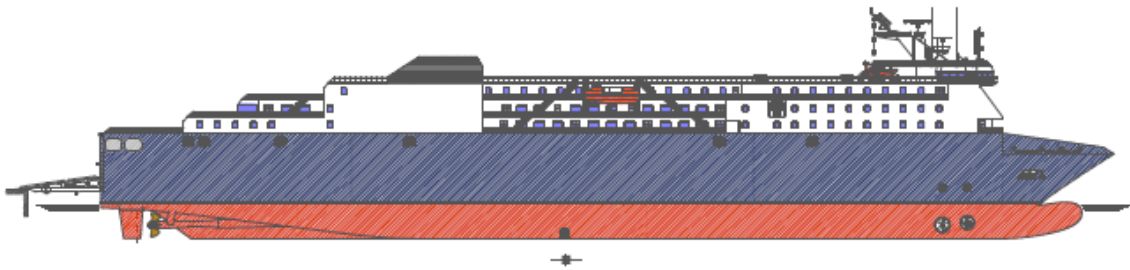
Presupuesto total	
Concepto	Importe (€)
Costes varios del astillero	2130000
Coste del acero	4850000
Coste mano de obra	56250000
Costes Maquinaria Principal	23499800
Costes Maquinaria Auxiliar	1950000
Costes varios máquinas	1140000
Costes habilitación y equipos	20080000
Coste total del buque	109899800
Beneficio industrial del astillero (6%)	6593988
Presupuesto total	116493788



Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales

Proyecto Fin de Carrera nº034

ROPAX 4000 TPM



Cuaderno 14

Memoria Final

Tutor:

José María Riola Rodríguez

Alumno:

Francisco Sastre Guasch



Índice

1. Introducción	3
2. Descripción general del proyecto.....	4
2.1. Dimensionamiento	4
2.2. Formas.....	4
2.3. Disposición general	4
2.4. Arquitectura naval.....	5
2.5. Propulsión y maniobra	5
2.6 Cámara de máquinas.....	6
2.7. Planta eléctrica.....	6
2.8. Calculo estructural	6
2.9. Peso en rosca.....	7
2.10. Estabilidad y condiciones de carga.....	8
3. Cumplimiento de los requisitos y posibles mejoras.....	9



1. Introducción

En este cuaderno se recoge todas las características más importantes del buque proyecto, haciendo una breve descripción de las mismas. Repasaremos para cada cuaderno la metodología que hemos seguido para su elaboración y se destacaran los aspectos más relevantes. Estos cuadernos son los siguientes;

- Dimensionamiento.
- Formas.
- Disposición general.
- Arquitectura naval.
- Propulsión y maniobra.
- Cámara de máquinas.
- Planta eléctrica.
- Calculo estructural.
- Peso en rosca.
- Estabilidad y condiciones de carga.

Por último se tratara de exponer las modificaciones que se podrían realizar para mejorar el buque proyecto.



2. Descripción general del proyecto

2.1. Dimensionamiento

A lo largo del dimensionamiento se obtienen las **dimensiones principales del buque**, las cuales permiten disponer de las capacidades de carga y pasaje requeridas. Posteriormente se obtienen valores aproximados del peso en rosca del buque, de la potencia propulsora necesaria para que navegue con la velocidad de pruebas deseada, de la posición del centro de gravedad, y, finalmente, de los coeficientes característicos de la obra viva.

El criterio de partida en la obtención de las dimensiones del buque es la **capacidad de carga**, de modo que inicialmente se definen una serie de alternativas. De entre ellas se elige aquella que, siendo similar a una serie de buques existentes, permite repartir su carga entre el menor número de cubiertas, logrando la distribución de espacios de carga más compacta.

Por su parte, los requerimientos de estabilidad conllevan mangas anchas y relaciones L/B bajas, a pesar de ser un buque bastante rápido de formas finas, con bulbo en proa y popa de espejo. La velocidad requerida obliga a disponer de un coeficiente de bloque relativamente bajo, mientras que el coeficiente prismático es elevado para obtener un mayor espacio de carga. Como resultado se obtiene un buque ROPAX de dos cubiertas de carga rodada, tambuchos laterales y tres cubiertas de habilitación más una adicional para locales auxiliares y puente de mando.

2.2. Formas

Las formas del buque deben ser tales que cumplan dos condiciones básicas y aparentemente opuestas:

- Disponer del suficiente espacio en las cubiertas de carga para garantizar la capacidad de carga requerida.
- Minimizar la resistencia al avance del buque de modo que pueda alcanzar la velocidad de servicio con la menor potencia posible.

Para generar las formas se ha partido de las formas de un proyecto similar, las cuales se han transformado convenientemente para aproximarse a los valores obtenidos en el dimensionamiento. En su modelado y el estudio se ha hecho uso de Rhinoceros, AutoCad y Maxsurf.

2.3. Disposición general

La disposición general de los espacios del buque se lleva a cabo teniendo en cuenta las formas obtenidas, el desglose de la superficie de habilitación que se obtiene al inicio del proyecto y los reglamentos indicados en las especificaciones, es decir, el SOLAS y el reglamento de la sociedad de clasificación, Bureau Veritas.

El buque proyecto dispone dos cubiertas para el transporte de carga rodada. Los garajes aprovechan el espacio disponible al máximo, no existiendo mamparos transversales.



Son espacios diáfanos sin escotillas para conseguir la mayor maniobrabilidad de los vehículos y el óptimo aprovechamiento superficial y volumétrico. Los tambuchos laterales permiten albergar las escaleras y ascensores de comunicación entre cubiertas así como conductos de ventilación y exhaustación.

Además, se cuenta con cuatro cubiertas de habilitación, de las cuales dos están destinadas a habilitación de pasaje y las dos inmediatamente superiores a tripulación. En la distribución de la superficie de habilitación se ha intentado combinar la existencia de amplios espacios que permitieran proporcionar la comodidad deseada al pasaje con los correspondientes requisitos de seguridad a bordo que exige el SOLAS (vías de escape, espacios para botes salvavidas, existencia de mamparos contraincendios, etc.).

2.4. Arquitectura naval

En dicho cuaderno se han realizado los cálculos pertinentes mediante el programa de arquitectura naval, Hidromax. Para ello tuvimos que determinar el volumen de los tanques y su disposición en las cubiertas de cámara de máquinas. Con todos estos pesos juntamente con el peso en rosca y peso muerto, estimados en el cuaderno de dimensionamiento pudimos realizar un estudio preliminar de las condiciones de carga.

Por último de acuerdo a los datos obtenidos en anteriores cuadernos y los reglamentos de líneas de carga en vigor hemos obtenido los cálculos de francobordo y arqueo del buque proyecto.

2.5. Propulsión y maniobra

Nuestro buque contará con dos líneas de ejes, debido principalmente a razones de maniobrabilidad (reducción de la duración de las maniobras en puerto) y seguridad (se evita dejar al buque inoperativo en navegación por problemas en una línea de ejes). Además se tienen en cuenta consideraciones relativas al espacio disponible bajo la cubierta principal y al calado de los puertos en los que presumiblemente operará el buque.

Se dispondrá de dos hélices de paso controlable, las cuales proporcionan mayor seguridad y maniobrabilidad, así como un ajuste óptimo de potencia-RPM para las diferentes velocidades requeridas por el armador. Además, este tipo de hélices permite individualizar el empuje de cada propulsor, lo que implica una mejora en la maniobrabilidad del buque. Cada línea de ejes irá conectada a una reductora donde engranará dos de los cuatro motores principales.

Se decide optar por motores diesel semirrápidos, debido principalmente a razones de empacho y baja altura disponible. En su selección se han tenido en cuenta el consumo, el tamaño, la capacidad de distribución del fabricante y su dificultad de mantenimiento. Finalmente los motores seleccionados son el modelo ¿? con una potencia de placa de ¿?

Con objeto de incrementar la maniobrabilidad, el buque dispone de dos hélices a proa de ¿? cada una, las cuales permiten al buque entrar y salir de puerto en el menor tiempo posible sin ayuda externa, minimizando de este modo los costes de explotación



La determinación de la resistencia al avance del buque a la velocidad definida en las especificaciones y, por consiguiente, el cálculo de la potencia propulsora necesaria, se han llevado a cabo mediante el método de Holtrop-Mennen

2.6 Cámara de máquinas

En este cuaderno se aborda el diseño de la cámara de máquinas, prestando atención a los equipos propulsores y generadores de energía, definiendo la composición de los principales sistemas presentes, como son:

- Servicio de combustible.
- Servicio de aceite lubricante.
- Servicio de aire comprimido.
- Sistema de refrigeración por agua dulce y agua salada.
- Sistema de exhaustación.
- Sistema de ventilación de espacios de máquinas.
- Servicio de vapor.

Es uno de los cuadernos más laboriosos debido a la gran cantidad de sistemas de los que se componen la cámara de máquinas.

2.7. Planta eléctrica

En este Cuaderno se ha realizado una estimación del consumo eléctrico del buque proyecto y, en función de dicho consumo, se han seleccionado los grupos electrógenos.

Hemos escogido una combinación de tres generadores de 1140 kW (**Wärtsilä Auxpac 1140W6L20**) suficientes para responder a las demandas de electricidad para las situaciones de navegación, carga y descarga y puerto. Para la situación de maniobra la demanda eléctrica es considerablemente mayor y por ello a parte de los tres generadores dispondremos de dos PTOs de 832 kW (**LSA 50.2 S4, 4 Pole de Leroy Sommers**).

2.8. Calculo estructural

El buque dispone de doble fondo conforme a las especificaciones. El tipo de estructura empleado dependerá de la zona considerada:

- EL doble fondo tendrá estructura longitudinal para responder adecuadamente a la flexión del buque-viga y para facilitar la revisión de los tanques. Sus elementos primarios estructurales son vagras y varengas. Las varengas son planchas transversales y se situarán cada 4 claras de cuadernas, coincidiendo con una bulárcama, es decir, cada 3200mm. La estructura secundaria estará compuesta por los longitudinales de refuerzo de las planchas de fondo y doble fondo.



- En el pantoque se ha decidido optar por una estructura transversal para evitar los problemas que supondrían los refuerzos longitudinales, dado que estos deberían seguir el afinamiento de formas a proa.
- En los costados se ha optado por una estructura transversal hasta la cubierta principal. Los elementos primarios serán los palmejares, dispuestos longitudinalmente, que irán apoyados en los mamparos. La estructura secundaria la compondrán las cuadernas (cada 800mm y las bulárcamas (cada 3200mm). Por encima de la cubierta principal se utilizará estructura longitudinal, pues desaparece el problema de las formas y esta disposición facilita la construcción de ventanas y aberturas en las cubiertas de habitación.
- En las cubiertas la estructura seleccionada será del tipo longitudinal, porque ofrece un comportamiento muy efectivo frente a la flexión del buque-viga, y porque además facilitará el tendido de tuberías, conductos de aire acondicionado y el cableado eléctrico. La estructura primaria estará formada por los baos reforzados, que estarán soportados en ocasiones por puntales, y la secundaria, por los longitudinales. Existirán además esloras, que permitirán distribuir las cargas de los baos.

En la construcción de la estructura se empleará principalmente acero NV-NS de 235 N/mm² grado A.

2.9. Peso en rosca

En este cuaderno en primer lugar, se ha realizado una estimación del peso de la estructura, *WST*, y su centro de gravedad por el método propuesto por D. M. Meizoso y D. J.L. García Garcés en su libro *“Desplazamiento: Cálculo Iterativo del Peso en Rosca y Peso Muerto”*. Se ha distinguido entre:

- Peso del acero continuo, tanto longitudinal como transversal. Se ha utilizado el método de Aldwinckle para su cálculo.
- Pesos locales de acero. Incluye mamparos transversales, piques de proa y popa, guardacalor y chimenea, superestructuras, etc.

Al peso obtenido en el paso anterior se le han sumado unas cantidades por errores de laminación, así como el peso de las soldaduras y un margen.

A continuación, se ha calculado el peso de la maquinaria, *WQ*, y su correspondiente centro de gravedad, mediante un desglose detallado de los elementos que conforman esta partida, indicando pesos y posiciones de los mismos.

Por último, se han calculado tanto el peso como el centro de gravedad del equipo y la habitación.

De esta forma hemos podido obtener el peso en rosca del buque proyecto y centro de gravedad del mismo, de forma más exacta de la que se llevó a cabo en el cuaderno de dimensionamiento.



2.10. Estabilidad y condiciones de carga

En este cuaderno se han estudiado las distintas condiciones de carga que se darán a lo largo de la vida del buque , o al menos las más representativas que vienen indicadas en las normas de Inspección General de Buques (A.167-IMO), obteniendo:

- Las condiciones de equilibrio en cada condición de carga en estudio.
- La verificación de la estabilidad del buque intacto para cada condición de carga.
- El estudio de la resistencia longitudinal y comprobación de los créditos marcados por la Sociedad de Clasificación, Bureau Veritas.
- El estudio de las condiciones de equilibrio del buque después de una avería.
- La comprobación de estabilidad del buque después de avería teniendo en cuenta criterios exigidos por el SOLAS.



3. Cumplimiento de los requisitos y posibles mejoras

Una vez finalizado el proyecto, creemos que se ha llegado a un nivel de cumplimiento aceptable de los requisitos impuestos, cumpliendo con la reglamentación exigida por la Sociedad de Clasificación Bureau Veritas, SOLAS, MARPOL y Convenio de líneas de carga. Por otro lado, también se ha cumplido con las especificaciones de contrato.

A modo de resumen se expone los requisitos con los que cumple nuestro buque proyecto:

- Tipo de buque: Ferry de día para 800 pasajeros.
- Camarotes: 40 camarotes cuádruples y resto en salones.
- Espacios públicos: 3.5 m² / persona.
- Capacidad de carga: 650 metros lineales de tráileres y 300 coches en carga simultánea.
- Peso muerto: 4000 TPM.
- Sociedad de clasificación: Bureau Veritas.
- Reglamentos: Solas, Marpol, Convenio Líneas de Carga, Acuerdo de Estocolmo.
- Velocidad: 26 nudos al 85% MCR en pruebas.
- Autonomía: 4000 millas al 85% MCR y 15% margen de mar.
- Tripulación: 40 personas.
- 60 tomas de corriente para tráileres refrigerados.
- A efectos de peso muerto y estabilidad se ha considerado;
 - Coches: 0,350Tm por metro lineal.
 - Tráileres: 2Tm por metro lineal

Es evidente que siempre se pueden mejorar los cálculos realizados, complementándolos con ensayos de modelos a escala en canales de experiencias hidrodinámicas, o mejorándolos mediante modelos matemáticos de elementos finitos. Todo ello como es evidente, no es viable realizarlo para el buque proyecto, pero hoy en día es impensable no hacerlo para un buque real.